

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Departamento De Ingeniería Térmica y de Fluidos

Área de Ingeniería Térmica



TRABAJO FIN DE GRADO

**ESTUDIO, PUESTA EN FUNCIONAMIENTO Y
EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO
PARA UNA BOMBA DE MECATE**

Autor: SERGIO MEDINA DE MIGUEL

Director: ULPIANO RUIZ-RIVAS HERNANDO



Título: Estudio, puesta en funcionamiento y evaluación de alternativas de diseño para una bomba de mecate

Autor: Sergio Medina de Miguel

Director: Ulpiano Ruíz-Rivas Hernando

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Trabajo de Fin de Grado el día __ de _____ de 20__ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Estudio, puesta en funcionamiento y evaluación de alternativas de diseño para una bomba de mecate





AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a mi tutor, Ulpiano Ruiz-Rivas, la posibilidad de realizar este proyecto con fines solidarios a través de la asignatura *Tecnologías apropiadas para el desarrollo*. El espíritu altruista del grupo involucrado es digno de admirar.

Por el lado personal, agradecer a mis padres y hermana el esfuerzo y el apoyo sin límites que me han permitido elegir siempre aquello que he querido. Amigos y compañeros que me han ayudado durante esta etapa de mi vida. Justo al final de ella tengo una mención especial, gracias Alba, por seguir aprendiendo de ti.



ÍNDICE

1. Introducción	9
2. Situación y medios actuales.....	11
2.1 Agua mundial. Informe de desarrollo humano 2006	11
2.1.1 Análisis sobre la problemática del agua	12
2.2 Abastecimiento en los países subdesarrollados	15
2.2.1 Fuente origen del agua.....	16
2.2.1.1 Agua atmosférica	16
2.2.1.2 Agua gris	17
2.2.1.3 Agua subterránea.....	17
2.2.1.3.1 Tecnología para el abastecimiento de agua subterránea	17
2.2.1.3.2 Fuentes de energía para los sistemas de bombeo	21
2.2.2 Demanda de agua.....	22
2.2.3 Localización en relación con servicio técnico. Concepto VL0M	22
2.2.4 Aceptabilidad de los usuarios.....	24
2.2.5 Precio	24
2.2.6 Acuerdos y disposiciones institucionales	25
2.3 Modelos de bombas manuales.....	25
2.3.1 Bombas recíprocas o de émbolo.....	25
2.3.1.1 Bombas de succión.....	27
2.3.1.2 Bombas de acción directa	28
2.3.1.3 Bombas de pozo profundo.....	30
2.3.2 Bombas manuales de desplazamiento	32
2.3.2.1 Bombas de diafragma	32
2.3.3 Bombas manuales de rotación.....	33
2.3.3.1 Bomba de cubo y cuerda.....	33
2.3.3.2 Bomba de Mecate.....	34
2.3.3.2.1 Descripción y principio de funcionamiento	34
2.3.3.2.2 Comparación Bomba de Mecate con Bombas recíprocas.....	37
2.3.3.2.3 Normas de diseño, problemas frecuente y coste	38
2.3.3.2.4 Variantes de diseño actuales.....	41
2.3.3.2.5 Modelo de funcionamiento	44
3. Caracterización de la instalación.....	49
3.1 Revisión y acciones iniciales	49
3.1.1 Antecedentes. Instalación inicial	49
3.1.2 Tareas menores. Puesta a punto.....	50
3.1.3 Propuesta inicial de alternativas de diseño	51
3.1.3.1 Desagüe	52
3.1.3.2 Rueda.....	60
3.1.3.3 Manivela.....	61
3.1.3.4 Cojinetes.....	62
3.1.3.1 Estructura.....	68
3.1.3.5 Freno	70
3.2 Caracterización inicial.....	72
3.2.1 Caracterización previa	72
3.2.1.1 Caudal de pérdidas en estático	72
3.2.1.2 Caudal de pérdidas en función de la frecuencia.....	74
3.2.2 Realización ensayo 1. Caudal de pérdidas en estático.....	77
3.2.2.1 Técnica de medida.....	77
3.2.2.2 Resultados y comparación con los resultados anteriores	78



3.2.2.3 Conclusiones	79
3.2.3 Realización de ensayo y análisis del caudal de pérdidas en función de la frecuencia	79
3.2.3.1 Técnica de medida	80
3.2.3.2 Resultados y conclusiones de los ensayos de caudal de pérdidas en función de la frecuencia	81
3.3 Alternativas de diseño	84
3.3.1 Cuerda y pistones	84
3.3.1.1 Justificación	84
3.3.1.2 Proceso de fabricación	85
3.3.2 Rueda	88
3.3.2.1 Justificación	88
3.3.2.2 Proceso de fabricación	88
3.3.2.3 Cálculo del Radio efectivo	93
3.3.3 Manivela	94
3.3.3.1 Justificación	94
3.3.3.2 Proceso de fabricación	95
3.3.3.3 Elemento de deslizamiento, nuevas dimensiones, calculo del nuevo radio de la manivela a raíz del cálculo anterior de radio efectivo	95
3.4 Caracterización final	96
3.4.1 Montaje de los nuevos componentes y puesta en funcionamiento	96
3.4.2 Realización de ensayo y análisis del caudal de pérdidas en función de la frecuencia con los nuevos componentes	97
3.4.3 Comparación, evolución y conclusiones respecto la caracterización inicial ...	98
4. Presupuesto	102
5. Conclusiones	104
6. Bibliografía	110



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1	13
Figura 2. 2	14
Figura 2. 3	14
Figura 2. 4	18
Figura 2. 5	19
Figura 2. 6	19
Figura 2. 7	20
Figura 2. 8	20
Figura 2. 9	21
Figura 2. 10	26
Figura 2. 11	28
Figura 2. 12	29
Figura 2. 13	31
Figura 2. 14	33
Figura 2. 15	35
Figura 2. 16	36
Figura 2. 17	39
Figura 2. 18	42
Figura 2. 19	43
Figura 2. 20: Fuerzas, caudal y variables plasmadas en la imagen	45
Figura 2. 21	46
Figura 2. 22	47
Figura 3. 1: Sistema de desagüe previo	53
Figura 3. 2: Se muestra la parte del desagüe visible desde la planta inferior	58
Figura 3. 3: Se muestra la parte superior del desagüe, el depósito.	59
Figura 3. 4: Perfil y lateral de la rueda inicial	60
Figura 3. 5: Manivela inicial con refuerzos en los ángulos	61
Figura 3. 6: Se aprecia la dirección correcta del agujero	64
Figura 3. 7: Cojinete de haya	65
Figura 3. 8: Evolución de las burbujas según la humedad se va eliminando.	66
Figura 3. 9: Cojinetes inmersos en aceite, desorbiendo humedad	67
Figura 3. 10: Estructura en la situación de inicial.	68
Figura 3. 11: Escuadras de refuerzo para la zona de apoyo de los cojinetes	70
Figura 3. 12: Medidas de tiempo tomadas y resultados de caudal de pérdidas	73
Figura 3. 13: Tabla resultados. Ensayo caudal de pérdidas en función de la frecuencia	75
Figura 3. 14: Gráfica resultado del ensayo	76
Figura 3. 15: Tabla de tiempos por persona	78
Figura 3. 16: Tabla para la toma de datos	80
Figura 3. 17: Interfaz de la app “Metronome Beats”	81
Figura 3. 18: Gráfica del ensayo 1 de caudal de pérdidas en función de la frecuencia.	82
Figura 3. 19: Gráfica del ensayo 2 de caudal de pérdidas en función de la frecuencia.	83
Figura 3. 20: Tabla de valores de los diámetros	85



Figura 3. 21: Molde metálico para la fabricación de pistones.....	86
Figura 3. 22: Pistones recién extraídos del molde y pistones ya taladrados	86
Figura 3. 23: Medio nudo múltiple	87
Figura 3. 24: Nudo corredizo de horca.....	87
Figura 3. 25: Rueda adquirida	89
Figura 3. 26: Corte del neumático para el perfil V.....	90
Figura 3. 27: Instalación de la tira de cámara en la llanta	90
Figura 3. 28: Problemática detectada en la unión llanta-perfil V.....	91
Figura 3. 29: Comienzo de la aplicación de adhesivo para la unión	92
Figura 3. 30: Conjunto rueda-manivela finalizado	93
Figura 3. 31: Gráfica del ensayo con los nuevos componentes	97
Figura 3. 32: Gráfica 1.....	98
Figura 3. 33: Gráfica 2.....	99
Figura 3. 34: Gráfica 3.....	99
Figura 3. 35: Gráfica 4.....	100
Figura 4. 1: Tabla coste de ingeniería y diseño.....	103
Figura 4. 2: Tabla coste de materiales.....	104
Figura 4. 3: Tabla coste de mano de obra	105
Figura 4. 4: Tabla coste de ensayos y pruebas.....	106



1. Introducción

El presente proyecto ha sido realizado dentro del departamento de Ingeniería térmica y de fluidos, desarrollando la actividad en los laboratorios de la asignatura Tecnologías apropiadas para el desarrollo, de dónde nace este proyecto.

Éste tiene el cometido reconstruir, rediseñar y mejorar el funcionamiento, rendimiento y durabilidad de una bomba de mecate, la cuál se encuentra en los laboratorios de la universidad situados en la avenida del Mediterráneo, pertenecientes a la asignatura ya mencionada.

Me gustaría destacar, previo a la introducción de las partes que componen el proyecto, la labor, finalidad y espíritu solidario que posee el grupo de personas involucradas en esta asignatura.

Ya en el proyecto, en el capítulo posterior a esta introducción se intentará transmitir una imagen global acerca de la situación del agua como recurso a nivel mundial, centrándonos después en los casos más desfavorecidos, para conseguir así dar sentido y justificación al por qué de este proyecto y demostrar la importancia de optimizar estos medios de extracción de agua en cierto modo primitivos.

A continuación, se centrará la vista en el caso particular que incumbe al proyecto, la bomba de mecate. Se estudiarán sus partes, su funcionamiento, sus



características de uso y sus limitaciones. Para ello, se ha contado con bibliografía especializada en bombas manuales, facilitada en mayor parte por el tutor y que citaremos en su apartado correspondiente. Se logra así conocer al máximo todo lo que engloba la bomba de mecate.

Posteriormente, en el tercer punto del proyecto se tratará la caracterización de la bomba. Se describirán los ensayos elegidos a realizar, las mediciones tomadas y los métodos utilizados. Es importante conseguir unas primeras medidas que sirvan de punto de partida de la bomba en estado inicial y que sirvan para comparaciones entre las variantes de diseño. Se explicarán las mejoras de diseño planteadas, nuevos componentes, diferentes configuraciones, etc.

En un primer lugar, para mejorar las condiciones de trabajo con la bomba, sin buscar mejorar el rendimiento de la misma, se llevan a cabo una serie de acciones en algunos de sus elementos.

En segundo lugar, debido a la dificultad de obtener unas primeras medidas con resultados coherentes, se analizará la problemática detectada, se tomarán medidas y analizarán variantes de diseño para solventar esa situación con el fin de poder caracterizar la bomba.

Se describirá detalladamente el proceso de implantación de cada mejora para poder comprender a la perfección su finalidad y razón de implantación.

Una vez se hayan implantado las soluciones pensadas se realizará una comparación de la evolución del funcionamiento de la bomba y se sacarán conclusiones de los resultados finales.

Se dará paso entonces al punto de conclusiones generales, dónde se valorará tanto la experiencia adquirida en función con el tiempo empleado y el aprendizaje teórico-práctico en base al trabajo realizado.

Por último se encontrará la relación de fuentes bibliográficas.



2. Situación y medios actuales

La misión de este capítulo es hacer palpable, mediante datos, la situación crítica que existe actualmente en el mundo en torno al agua, para activar la conciencia y entender el objetivo, enfoque y uso de la tecnología que se implanta en determinadas situaciones.

2.1 Agua mundial. Informe de desarrollo humano 2006

A lo largo de la historia, el agua ha confrontado a la humanidad con algunos de sus desafíos más grandes. El agua es una fuente de vida y un recurso natural que sostiene nuestro medio ambiente y permite la subsistencia, pero también es una fuente de riesgo y vulnerabilidad. A comienzos del siglo XXI, las posibilidades de desarrollo humano se ven amenazadas por una profundización en la crisis mundial del agua. Para desmitificar la idea de que esta crisis es el resultado de la escasez, este Informe sostiene que la pobreza, el poder y la desigualdad son la clave del problema.

En un mundo de riquezas sin precedentes, casi 2 millones de niños mueren cada día por no tener un vaso con agua limpia ni servicios de saneamiento adecuados. Millones de mujeres adultas y jóvenes son obligadas a pasar horas juntando y transportando agua, lo que restringe sus oportunidades y elecciones. Y las enfermedades infecciosas transmitidas por el agua están



refrenando la reducción de la pobreza y el crecimiento económico en algunos de los países más pobres del mundo.

Fuera del ámbito de los hogares, se está intensificando la competencia por el agua como un recurso productivo. Algunos síntomas de esa competencia incluyen el colapso de los sistemas ecológicos basados en el agua, la disminución de los caudales fluviales y el agotamiento a gran escala de las aguas subterráneas. Los conflictos por el agua dentro los países se están agravando y las poblaciones rurales pobres están perdiendo la batalla. Las posibles tensiones que pueden generarse entre países también van en aumento, aunque la mayor cooperación ha permitido desarrollar grandes beneficios potenciales en materia de desarrollo humano.

El Informe sobre Desarrollo Humano 2006 arroja datos tales como que en la actualidad hay 1200 millones de personas sin acceso a fuentes de agua segura y a 2600 millones sin acceso a servicios de saneamiento. Propone un esfuerzo colectivo para lograr que el agua y los servicios de saneamiento lleguen a todas las personas mediante estrategias nacionales y un plan de acción mundial. Analiza las fuerzas sociales y económicas que propician la escasez de agua y la marginación de los pobres en la agricultura observa el alcance de la cooperación internacional para resolver tensiones entre países respecto a la gestión de los recursos hídricos.

2.1.1 Análisis sobre la problemática del agua

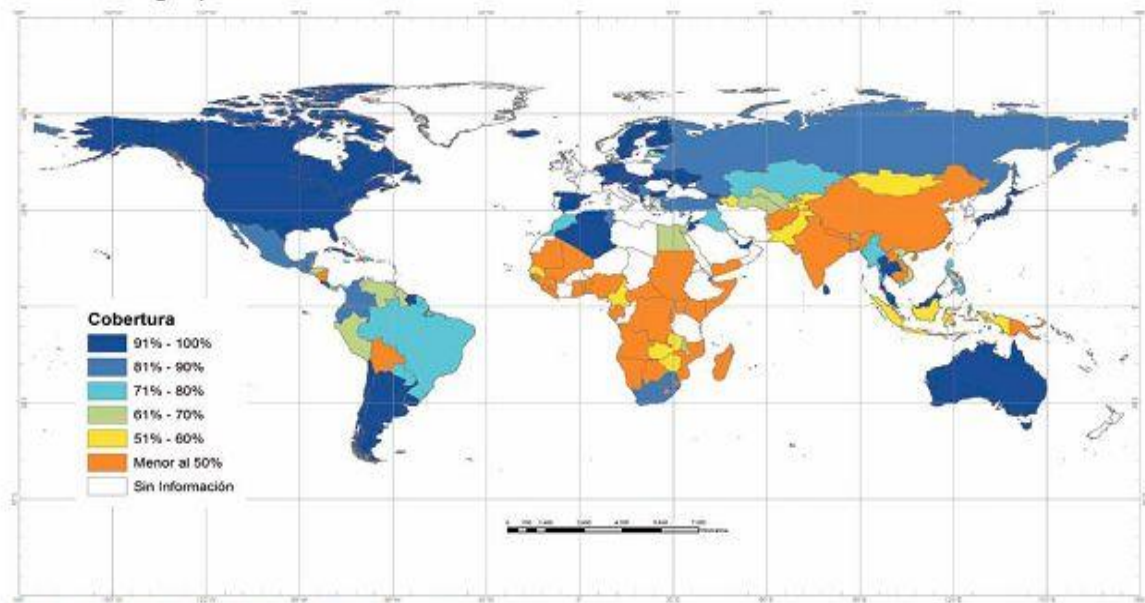
En primer lugar se procede a observar la esperanza de vida en los diferentes países del mundo (figura 2.1) para poder contrastar esta información con la que muestran las figuras sucesivas.



Figura 2. 1

Los datos pueden ser familiares pero se considera oportuno tenerlos presente visualmente para contrastarlos con la cobertura mundial de agua potable (figura 2.2) y las fuentes de agua terrestres en los países del mundo (figura 2.3).

Cobertura de Agua potable en el mundo



Fuente: CONAGUA. Atlas del Agua en México, 2009.

Figura 2. 2

Total actual renewable water resources per inhabitant ($m^3/year$)

Actual renewable surface water and groundwater resources per inhabitant (in 2005)

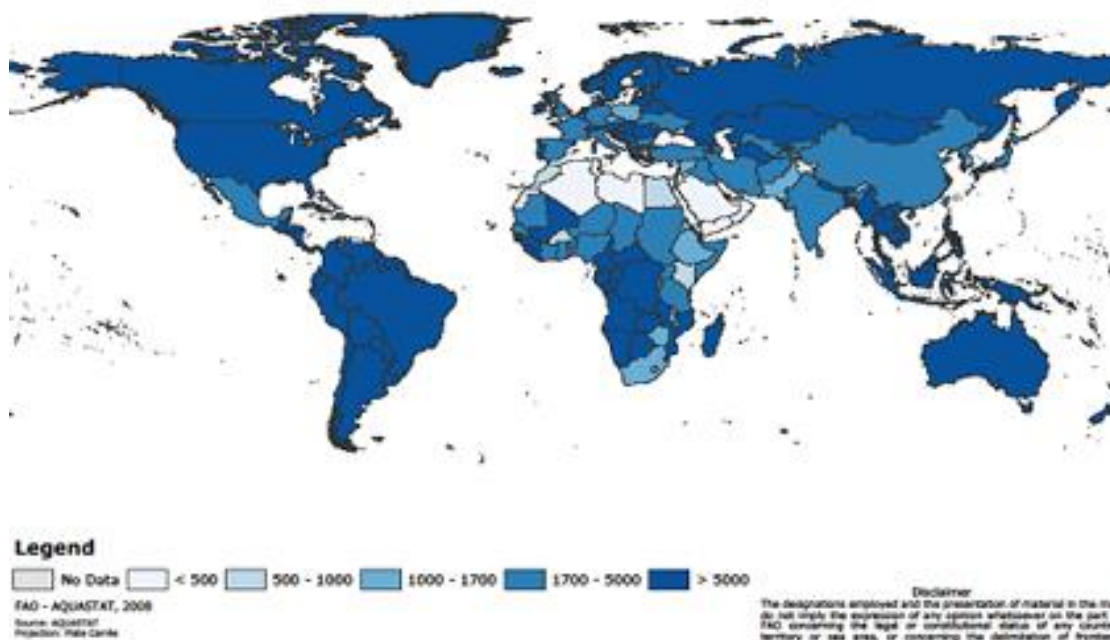


Figura 2. 3



Bien se puede observar que hay lugares en los que la esperanza de vida baja se podría achacar más a la escasez de recursos hidrográficos, como podrían ser algunos países de África Central, no obstante, vemos otras localizaciones, como en Sudamérica o varios países de África en los que el problema radica en el desarrollo humano, en la falta de medios para la explotación de los recursos y la explotación segura, es decir, potabilización. Y este problema lleva impidiendo mucho tiempo un desarrollo equiparable al de la sociedad en la que nosotros vivimos, ya que los obstáculos que tienen que sortear, desde enfermedades hasta caminatas diarias para conseguir agua, impiden el desarrollo de soluciones para la sociedad dónde ellos se encuentran.

De este problema es de dónde nace la misión de los sistemas de bombeo manual que ocupan este proyecto, los cuales vamos a introducir por tipos, explicando previamente la finalidad de la implantación de tecnología apropiada en países subdesarrollados faltos de suministro de agua.

2.2 Abastecimiento en los países subdesarrollados

Dependiendo del marco para el cuál se plantea el abastecimiento de agua hace necesario una adaptación y estudio individual para la obtención de soluciones apropiadas.

Cualquier estudio de abastecimiento, en un lugar concreto, ha de plantearse bajo un esquema como este:

- Fuente origen del agua.
- Demanda de agua.
- Localización en relación con servicio técnico.
- Aceptabilidad de los usuarios.
- Economía. Precio.
- Acuerdos y disposiciones institucionales.



Como se verá a continuación, cada uno de los puntos del esquema, son factores limitantes en el proceso de elección del sistema más apropiado para un caso específico. La solución adoptada deberá de cumplir con las limitaciones de cada uno de los puntos para ser válida.

2.2.1 Fuente origen del agua

El objeto de este punto es analizar las diferentes formas donde el agua es un recurso potencial. Esto quiere decir que no se considera el agua terrestre de ríos, lagos, etc. Para estos estudios son casos triviales. Los que no, son:

- Agua atmosférica.
- Agua gris.
- Agua subterránea. Se dará información más amplia por ser nuestra futura fuente de agua.

2.2.1.1 Agua atmosférica

El agua atmosférica como fuente es obtenida a través de la recoleta del agua de lluvia y del rocío provocado por la niebla. La recogida del agua de lluvia incluye su captación y su almacenamiento antes de que el agua se pierda por el proceso de natural de filtración. En cuanto al rocío se capta con la fabricación de una malla o hoja porosa donde se recogen las gotas de agua formadas y se transportan a un tanque de almacenaje. El agua obtenida de esta forma generalmente es poco. Es un suplemente a otras formas de obtención del agua.

El medio de gestión propio de captación de agua atmosférica es aquel que trata de captar el agua que cae sobre los tejados para su almacenaje.



2.2.1.2 Agua gris

Aguas grises se refiere a aguas ya usadas. Este tipo de agua incluye el usada para higiene personal, lavar ropa y utensilios de cocina. Este tipo de agua puede ser almacenado en un tanque séptico para después emplearlo para riego o bien reciclarlo.

2.2.1.3 Agua subterránea

Engloba tanto las aguas subterráneas o acuíferos como los manantiales que brotan de los mismos. Se habla de ellos como fuente ilimitada, de relativo fácil acceso en función de la profundidad. También depende de la porosidad o posibles fracturas que pueda tener el acuífero y de las condiciones geológicas, geomorfológicas y de las condiciones climáticas del pasado en el área. En cuanto a los manantiales, brotan en situaciones muy favorables de las variables ya mencionadas.

Es crítico que esta fuente agua subterránea sea repuesta. El relleno ocurre de forma natural a través de filtración de agua por el suelo, traspasando las diferentes capas de sustrato terrestre.

Se va a analizar la tecnología existente para llegar hasta este tipo de fuente y también a las diferentes fuentes de energía que se emplean para conseguir transportar esa agua a la superficie. Todo ello tiene una accesibilidad relativa, y nos servirá para enmarcar de forma justificada, los casos óptimos de uso de la bomba en la que se centra este proyecto, la de mecate.

2.2.1.3.1 Tecnología para el abastecimiento de agua subterránea

Se van a conocer las posibilidades que existen a la hora de llegar al agua subterráneo. Dependiendo de la tecnología disponible para la extracción del

agua subterránea, podrán ser descartados o seleccionados un tipo u otro de bombas o métodos de extracción.

Cada tecnología es diferente y posee características y requerimientos específicos que no competen a este proyecto, por ello, simplemente se van a mencionar e ilustrar, con el único fin de tener presente, más adelante, la tecnología previa que se necesita para la instalación de la bomba que es protagonista en este documento.

A) Pozo de perforación. Pequeño diámetro, por el que no cabe una persona, que se realiza mediante un útil tipo broca, desde una plataforma de barrenado.

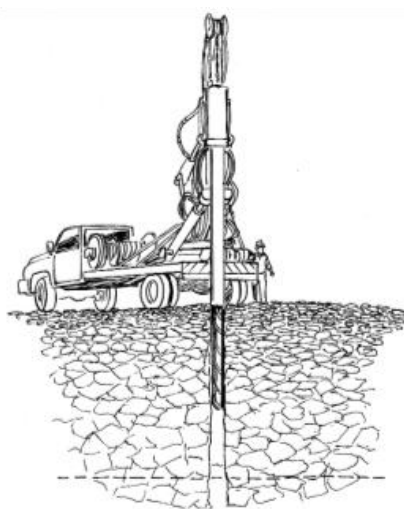


Figura 2. 4

B) Pozo excavado. El diámetro será de más de 0,8 metros para este tipo de pozos. La construcción no requiere maquinaria y las características finales dependen en gran medida de las condiciones geológicas del lugar.

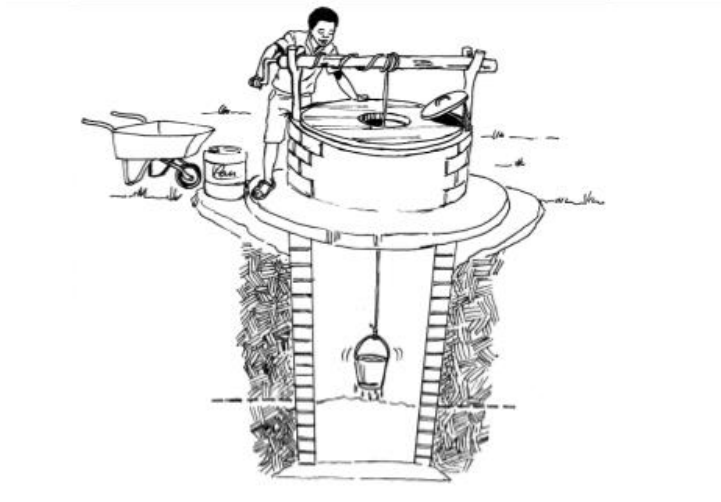


Figura 2. 5

C) Pozo de conducto. Similar al pozo de perforación, con la diferencia que este es indicado para terrenos blandos y para búsquedas de aguas poco profundas, provenientes de flujos estacionales.

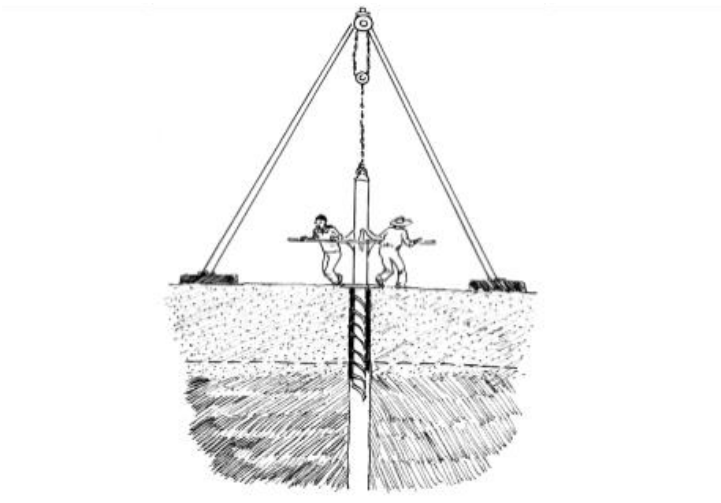


Figura 2. 6

D) Protección del manantial. Se trata de localizar y reconducir el agua de un manantial con el fin de evitar su contaminación en el transcurso del agua.

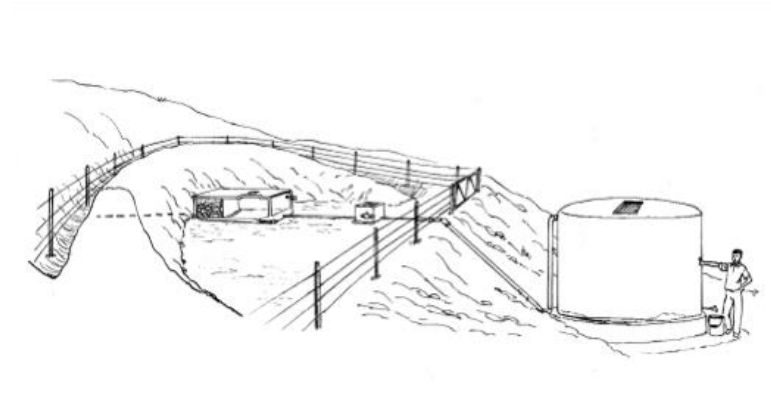


Figura 2. 7

E) Presas de arena. Configuraciones del terreno que permiten la saturación de riveras arenosas, de las que se extrae agua aunque no haya una corriente fluvial o agua acumulada. Se trata de absorber el agua de la arena mojada. La calidad del agua suele no ser muy buena y la construcción de la instalación y su uso requieren maquinaria.

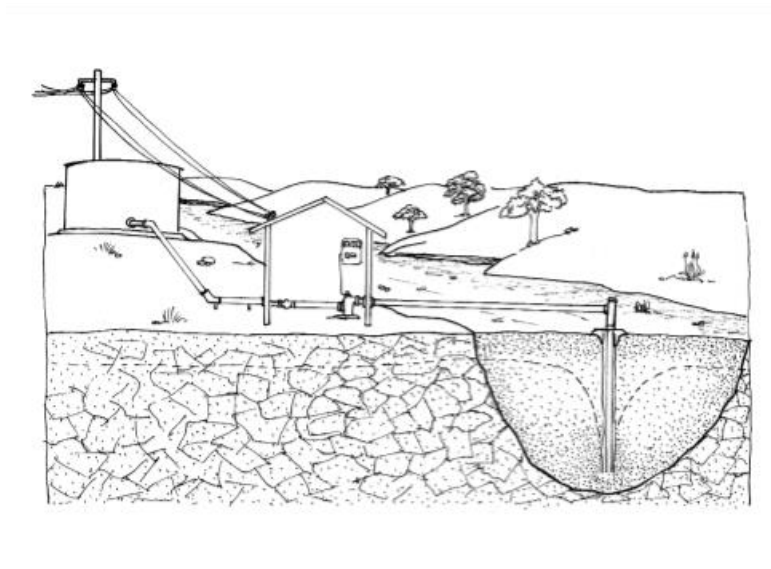


Figura 2. 8

F) Trasvase artificial. Se trata de la construcción de un canal, para llevar el agua a las zonas que lo necesitan y facilitar su extracción en los alrededores.

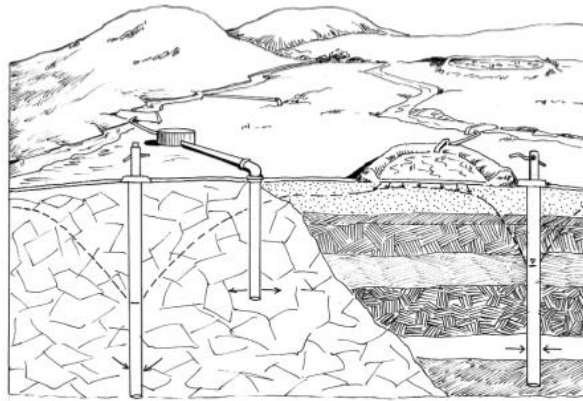


Figura 2. 9

2.2.1.3.2 Fuentes de energía para los sistemas de bombeo

Al igual que el apartado anterior, se considera oportuno mencionar los diferentes medios de obtención de energía, para posteriormente enmarcar las condiciones que son propicias para el uso de la bomba de la que trata el proyecto.

- Manual.
- Solar.
- Eólica.
- Motor diesel.
- Motor eléctrico.

La necesidad de disponer de unos u otros recursos para poder utilizar los diferentes medios de obtención de potencia son obvios, así como el nivel de accesibilidad de cada uno de ellos.



2.2.2 Demanda de agua

Se han de analizar las necesidades que tienen a la comunidad de personas que se pretende abastecer de agua en el caso a estudiar, ya que se deben garantizar unos mínimos de calidad y cantidad.

En cuanto a la cantidad, la Organización Mundial de la Salud (OMS), tiene estipulado una cantidad mínima de gasto de agua diario por persona, 25 litros, pero la cantidad mínima que se recomienda, evitando riesgos para la salud, está en torno a los 75 litros. Por lo que se han de echar cálculos con el número de personas a abastecer para elegir una solución acorde a este requisito.

Con respecto a la calidad, se ha de valorar la composición del agua y los posibles contaminantes existentes, analizando la rentabilidad de tratamiento o no. La situación de la instalación abastecedora en la comunidad, ya que, otro requisito que nos recomienda cumplir la OMS es que el lugar de recogida no debe estar a más de 1000 metros. Y también, se indica que el tiempo de recogida no puede ser superior a 30 minutos, requisito ligado con la cantidad, puesto que hemos de tener en cuenta el número de personas a abastecer y ver si es necesario bajar de esos 30 minutos.

Por último, se ha de tener en cuenta la fiabilidad de la instalación, donde la calidad y cantidad de uso del servicio están en función una de otra. Se ha de optar por una solución equilibrada. Aquí juega un papel importante el mantenimiento de la instalación, el cuál analizamos en el siguiente punto.

2.2.3 Localización en relación con servicio técnico. Concepto VLOM

Valorar la capacidad de respuesta que puede tener un proveedor para saber si merece la pena descartar, o no, una tecnología determinada por eficacia en el suministro o atención técnica que sea capaz de proporcionarnos en caso de



avería, necesidad de un repuesto, mantenimiento preventivo u otros requerimientos de una instalación de bombeo.

Recordando que se está enfocando el estudio para situaciones claramente adversas y con recursos limitados, no es factible en la mayoría de los casos entrar a valorar la posibilidad de acceder a un fabricante o una empresa especialista en un tipo de instalación.

Es por eso que surge lo que denominamos el concepto VLOM, cuyas siglas vienen del inglés *Village Level Operation and Maintenance*, que lo podríamos traducir como mantenimiento y operaciones en ámbito rural. Pasamos a describir las directrices a cumplir para aplicar esta forma de autogestión de las instalaciones, propias de un lugar y por los habitantes del mismo:

- El mantenimiento se podrá realizar con herramientas comunes, por una persona formada al efecto (generalmente de bajo nivel técnico).
- Las tecnologías escogidas se fabricarán (en la medida de lo posible) dentro del país, de manera que se asegure la accesibilidad a piezas de repuesto.
- Se primará la disponibilidad frente a la robustez o durabilidad. Es mejor un sistema que se estropee cada 6 meses y se pueda reparar en un par de días que un sistema que se estropee cada 12 meses pero que el tiempo de reparación suponga más de una semana.

Además de lo anterior, debido a problemas locales:

- La comunidad beneficiada será informada e involucrada desde el principio de las diversas opciones disponibles.
- Participará en la medida de sus posibilidades en la financiación del proyecto.
- La comunidad elegirá el tipo de mantenimiento que desee y quien lo realizará.



- La comunidad deberá ser capaz de pagar todas las reparaciones que no pueda abordar por sí misma una vez puesto en marcha el sistema.

2.2.4 Aceptabilidad de los usuarios

El grupo encargado de llevar a cabo el proyecto de abastecimiento de agua en una zona subdesarrollada es también encargado de que la comunidad no tenga ningún motivo para mostrar rechazo a la instalación que se les va a proporcionar.

Ha de tener en cuenta la ubicación de la instalación dentro de la comunidad, tratando de ser justos con la misma, si es posible elegir varios emplazamientos. Se ha de conocer la historia o tradición que puedan tener los posibles emplazamientos, ya que pueden existir lugares que mal vistos por motivos históricos, religiosos, culturales, etc.

Se debe tener presente y conocer la religión y cultura en todo su ámbito ya que puede haber procesos que estén prohibidas o elementos sagrados en su comunidad, que, sin querer, podemos dejar de respetar en el proceso de instalación.

2.2.5 Precio

La instalación ha de ser de bajo coste, tanto de adquisición como de operación. La situación descrita tiene como consecuencia final la falta de recursos económicos, por lo que el precio es el factor más limitante de todos.

Esto implica limitaciones en la elección de tecnología, si es que existiese proveedor o fabricante en el país o relativamente cercano, habría que ver si la comunidad puede afrontar el gasto, sin olvidar el concepto VLOM en la elección.



Y nos influye también su coste de operación. Que quiere decir el coste de la energía empleada para su uso, tema tratado en el punto 2.2.1.3.2 Dónde no suelen tener cabida fuentes de energía no renovables, ya que es una dependencia económica constante fuerte. En cuanto a las renovables, entraría dentro del coste de adquisición, lo que implica los inconvenientes ahí nombrados.

2.2.6 Acuerdos y disposiciones institucionales

Es competencia de la organización que lleva a cabo el proyecto de abastecimiento, informarse acerca de la normativa y las leyes que puedan influir en el proyecto.

Así como puede haber limitaciones, permisos que solicitar y otras trabas burocráticas. Puede resultar interesante consultar si existen ayudas o facilidades que incumban a este tipo de procesos.

2.3 Modelos de bombas manuales

En consecuencia de los puntos anteriores, la tecnología apropiada por la que se opta en gran parte de proyectos de abastecimiento de agua en países subdesarrollados son las bombas manuales, que, como su nombre indica, emplean la fuerza humana para funcionar.

Hay diversos tipos de bombas manuales, se va a mostrar una clasificación los tipos principales y sus características, dejando en último lugar el grupo de la bomba de mecate, centro de este proyecto, para explicarla más en profundidad.

2.3.1 Bombas recíprocas o de émbolo

En este tipo de bombas, el agua es elevada por un pistón que sube y baja dentro de un cilindro-válvula. El pistón se mueve mediante la fuerza humana que actúa sobre el mecanismo de acción de la bomba, pudiendo ser diferentes como se verá en los varios modelos existentes.

El funcionamiento de la bomba recíproca es causado por el principio que dice que el agua fluye de áreas de alta presión hacia áreas de baja presión. Ésta crea un área de presión suficientemente baja por encima del nivel del agua que hace que fluya hacia arriba.

El cilindro que encierra el pistón y dónde se producen las variaciones de presión consta de una válvula de no retorno en su base, llamada válvula de pie, que permite sólo el paso del agua desde la parte baja a la alta del cilindro. Previnendo así que el agua vuelva al lugar pozo. Una segunda válvula de no retorno situada en el pistón permitirá alternar con el movimiento de subida y bajada del pistón las zonas de alta y baja presión, de manera que colocadas ambas para que sólo admitan el paso del agua en sentido ascendente, conseguiremos elevar el agua. Se observa a continuación una ilustración (figura 2.10) con la secuencia de un ciclo completo de bombeo en una bomba de pistón.

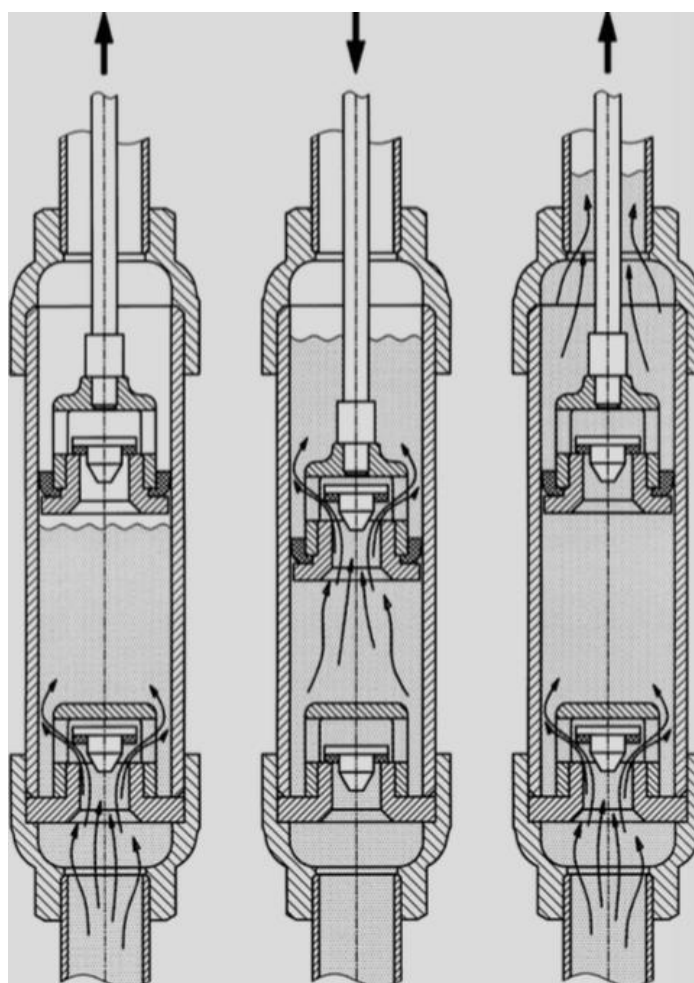


Figura 2. 10



Como se observa, se distinguen dos fases:

- Cuando el pistón baja. Ocurre que al bajar el pistón se aumenta la presión en el volumen que hay entre las válvulas. La válvula de pie permanece cerrada y la válvula del pistón se abre, porque es el único sentido disponible para equilibrar la presión debido a la configuración de las válvulas para permitir sólo el paso de agua en el sentido que nos interesa.
- Cuando el pistón sube. Sucede en este momento una bajada de presión en el volumen entre válvulas. Esta se equilibra gracias a la apertura automática de la válvula de pie, mientras que al mismo tiempo en la parte que está por encima del pistón, que da al conducto de subida, se eleva el agua que sale a la superficie.

Dentro de las bombas recíprocas hay tres tipos diferentes.

2.3.1.1 Bombas de succión

Su característica principal es que el cilindro se sitúa por encima del nivel del agua. Habitualmente cerca de la cabeza de la bomba.

Esta característica tiene como inconveniente que al iniciar el bombeo, hay aire en el sistema, por lo que la presión atmosférica limita su uso hasta profundidades de 7 u 8 metros. Por el mismo motivo, el hecho de que se vacíe el conducto de subida tras cada uso, implica trabajo extra.

Por otro lado, la gran ventaja de este modelo es la accesibilidad a sus componentes para un mantenimiento rápido y sencillo.

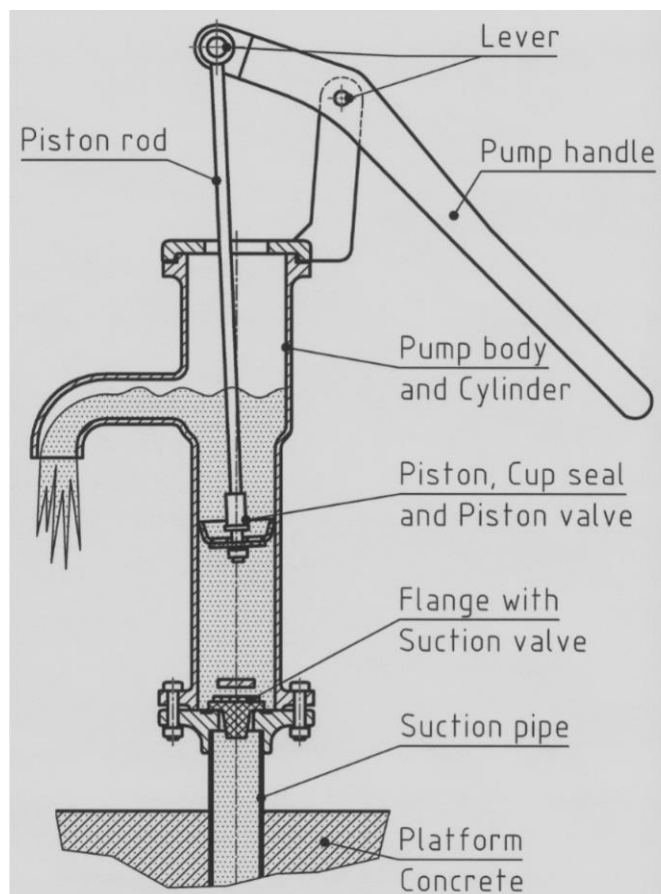


Figura 2. 11

2.3.1.2 Bombas de acción directa

En la mayoría de los diseños de las bombas de acción directa, el movimiento de subida y bajada del pistón es provocado por un útil en forma de T, situado en la vertical dentro de la armadura de la bomba. El útil en forma de T está hecho de tubos de plástico y sella la entrada de aire en el tubo de subida mediante el pistón. Por este hecho y el estar sumergida la válvula de pie hace que desde la primera bajada o subida del útil T se esté bombeando agua. Se observa la configuración en la figura 2.12.

Este diseño está indicado para bombear agua desde una profundidad de 12-14 metros.

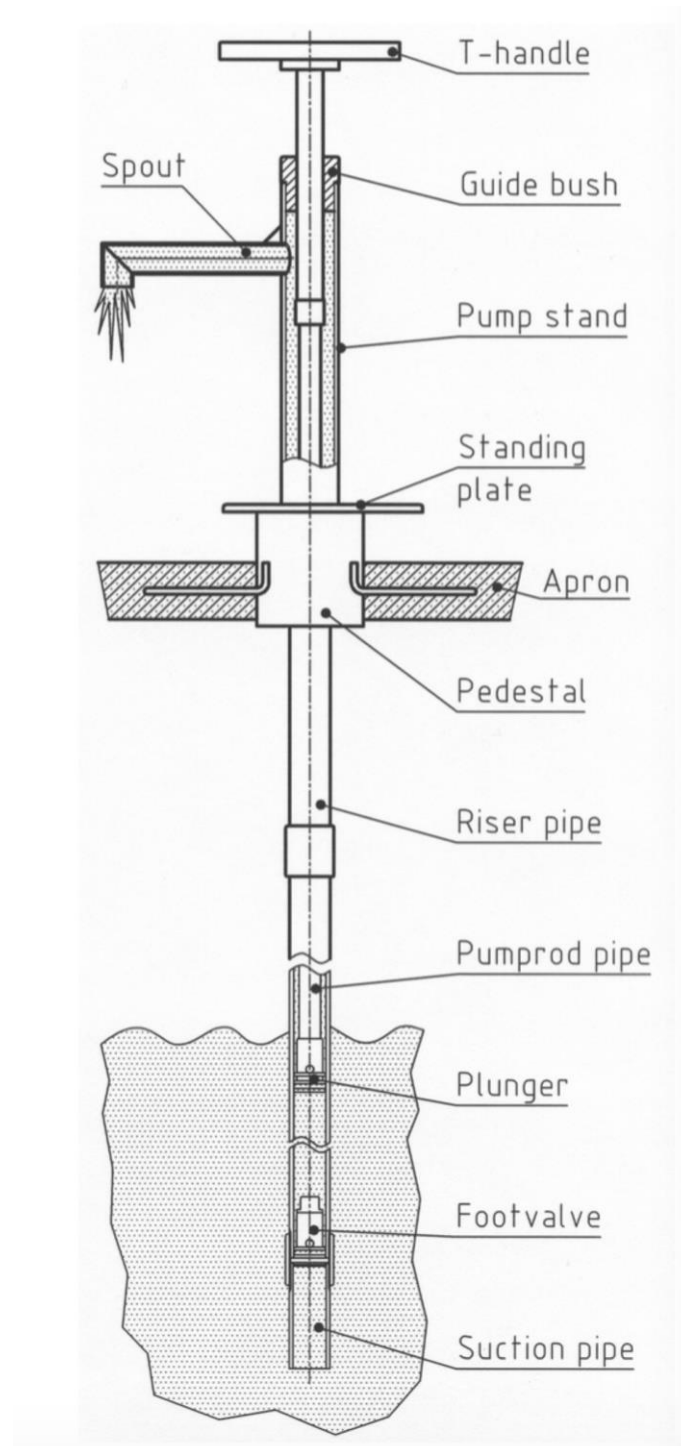


Figura 2. 12

Este modelo de bombas recíprocas o de pistón son muy simples de manejar por la comunidad. Una vez unidos el conducto de subida y el útil T, su desmontaje para el mantenimiento no es requerido, ya que estos tubos son suficientemente resistentes y flexibles para su uso. Además, los componentes son de material



plástico, lo que les hace ligeros y resistentes a la corrosión en caso de aguas agresivas.

2.3.1.3 Bombas de pozo profundo

Como su nombre indica, son utilizadas para mayores profundidades en comparación con los demás diseños. Estas están indicadas para bombear hasta profundidades de hasta 45 metros.

Su elemento diferenciador es su mecanismo de acción, que consiste en una palanca para que se conecta al útil de la bomba que transmite el movimiento al pistón encargado de generar el bombeo. El efecto multiplicador de fuerza del brazo de la palanca hace posible elevar la columna de agua desde profundidades mayores, siendo por tanto la indicada para estas situaciones. Se observa su configuración en la figura 2.13.

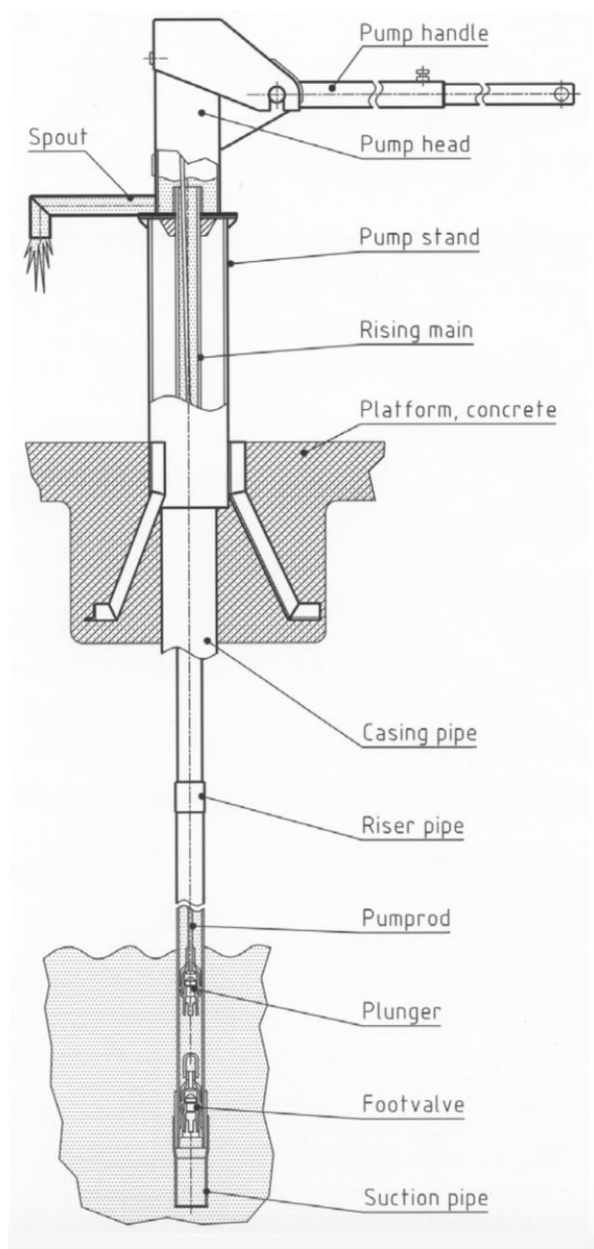


Figura 2. 13

La parte de la armadura y la palanca son metálicas, suelen ser de acero templado, fundición o zinc. El conducto de subida y el útil del pistón suelen ser plásticos, usualmente PVC.

El mantenimiento puede ser facilitado por una apertura en la armadura por la que se pueda extraer el útil por si surgiese algún problema con la válvula del pistón o la válvula de pie. Por lo general, el mantenimiento se puede realizar con escasas herramientas y por un único cuidador en la comunidad.



2.3.2 Bombas manuales de desplazamiento

2.3.2.1 Bombas de diafragma

Una alternativa al uso de un pistón es crear una bomba en la que, un diafragma flexible, es accionado hinchándose y deshinchándose de manera que sea capaz de desplazar agua.

Las ventajas de las bombas de diafragma es que son fáciles de instalar, porque no tienen piezas mecánicas pesadas. Pueden, además, emplear mangueras en vez de tubos rígidos para los conductos de subida. Requiriendo siempre ser resistentes a la corrosión.

Las desventajas que presentan son, primero, que necesitan un diafragma de goma de alta calidad, que resulta muy costoso, y segundo, que estas bombas tienen relativamente baja eficiencia debido al trabajo de deformación que requiere deformar el diafragma.

El principio de trabajo es en cierto modo difícil y extenso de explicar y no resulta fácil de entender. Lo que conllevaría una formación obligatoria para el cuidador que se nombrase en la comunidad que utilizase esta tipo de bomba.

A continuación, se muestra en la figura 2.14 el esquema de funcionamiento de bombeo mediante diafragma. Sistema en el que se basan las bombas de esta familia, pudiendo tener después especificaciones particulares.

Por lo general, el diafragma requiere de limpiezas periódicas, además del mantenimiento habitual de la bomba, motivo por el cuál, junto la eficiencia más baja de estas bombas, no son muy populares a la hora de implantarlas en países subdesarrollados

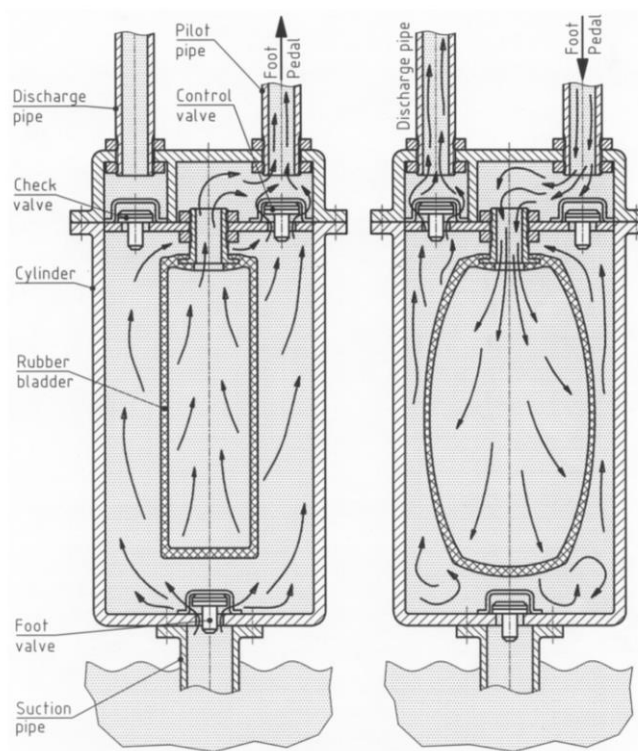


Figura 2. 14

2.3.3 Bombas manuales de rotación

2.3.3.1 Bomba de cubo y cuerda

Se trata de uno de los sistemas de bombeo más antiguos de la humanidad. Como bien deja entrever el título del apartado, se trata de un cubo o bolsa que se lanza a un pozo atado a una cuerda, para después, una vez lleno, recogerlo lleno de agua. Es un caso trivial, pero se nombra aquí porque a pesar de la evolución de la humanidad, este método de bombeo está latente alrededor del mundo. Son muchos los poblados que a falta de tecnología siguen con este método para obtener agua diariamente.

La vigencia persistente de este método se debe a su sencillez, tanto de uso como de fabricación y mantenimiento. Escasos componentes y de características



accesibles para cualquier comunidad. La mayor parte de las reparaciones se dan bien en la cuerda, en el cubo o en la rueda elevadora, en caso de tenerla.

Como contrapartida, se encuentra la frecuente contaminación del agua, debido al uso constante del mismo cubo y su desprotección una vez sube y sale al exterior. También se presentan limitaciones a la hora de bombear cantidades razonables de agua a partir de una profundidad de más de diez metros.

2.3.3.2 Bomba de Mecate

2.3.3.2.1 Descripción y principio de funcionamiento

Este tipo de bomba, que podemos observar en la figura 2.15, trabaja con una vuelta de cuerda, que se hace pasar a través de un tubo de plástico, que será el tubo de subida del agua. A una distancia regular, aproximadamente 1 metro, se sitúan en la cuerda pistones, de diámetro cercano al que tiene la tubería de subida, la eficiencia en relación con tolerancia pistón-tubo está estudiada con anterioridad. Al hacer girar la cuerda con pistones en sentido ascendente por la tubería de subida, y situado el conjunto con agua en la base, el agua asciende por la tubería arrastrada por los pistones.

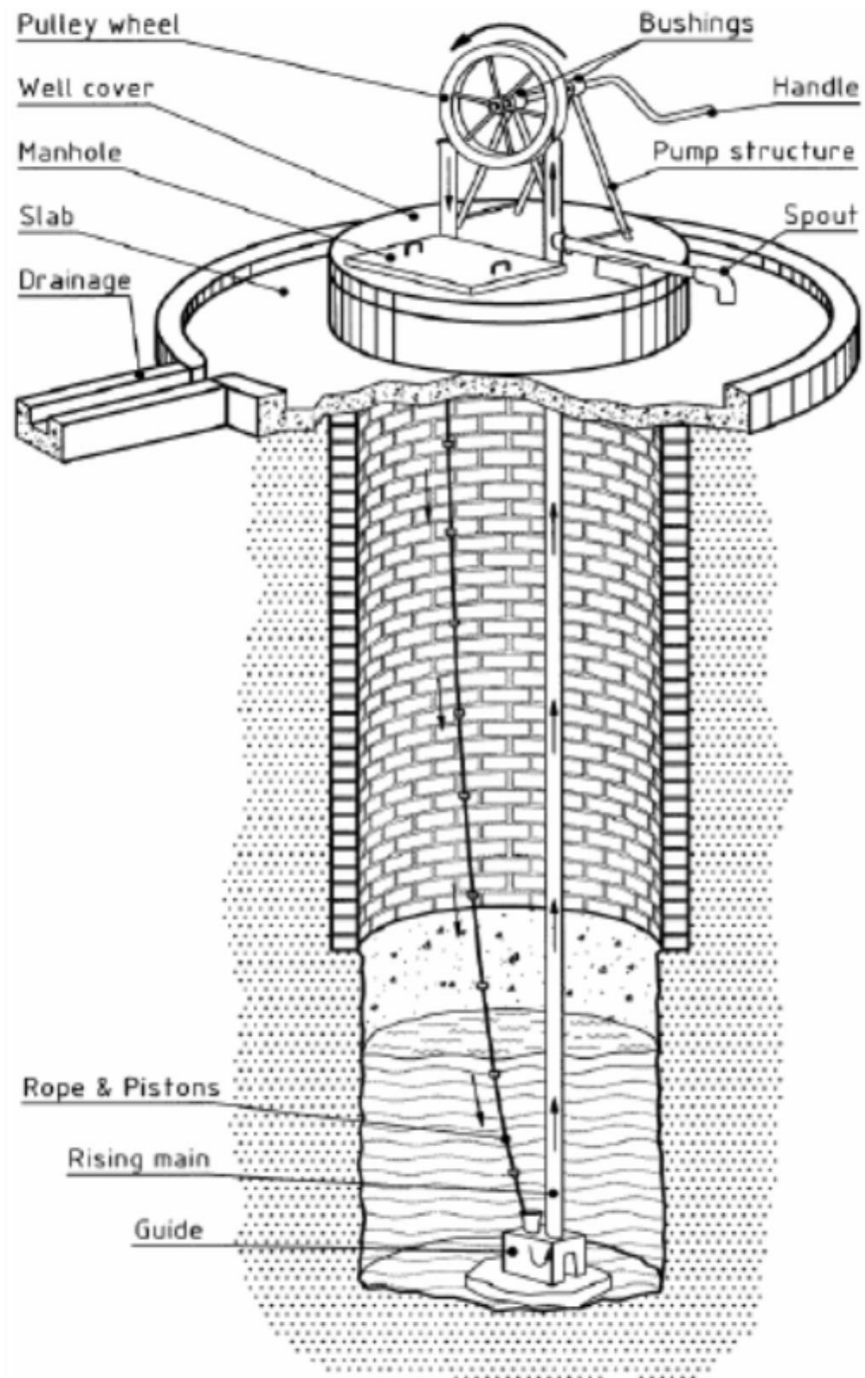


Figura 2. 15

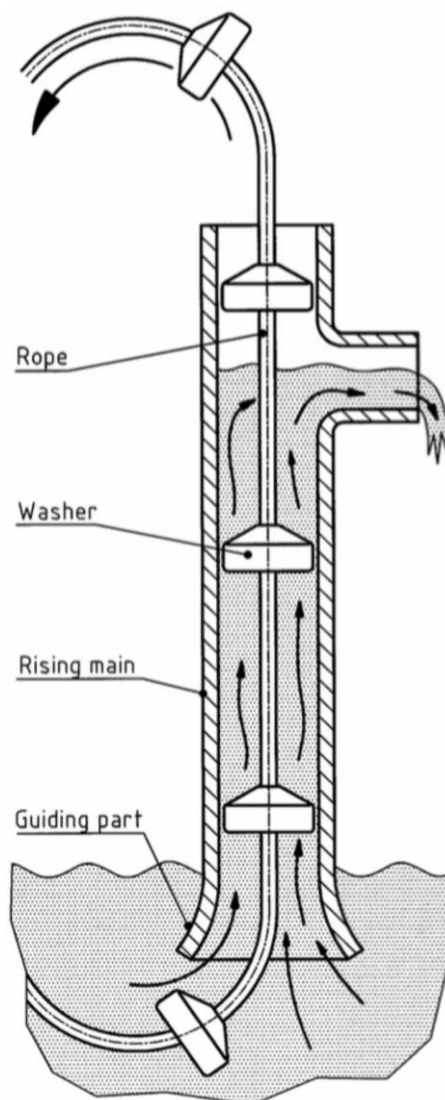


Figura 2. 16

El movimiento de la cuerda se produce al hacer girar una polea situada en la parte de superior, con el canal de goma para mayor adherencia, esta rueda se gira mediante una manivela unida a la rueda mediante un eje.

Al girar a partir de una frecuencia determinada, venciendo el caudal de pérdidas que tenga la instalación, el agua comenzará a fluir en la superficie. El caudal de pérdidas es debido a la tolerancia existente entre pistones y tubería de subida ya mencionada con anterioridad.

La bomba de mecate es ubicada habitualmente en pozos excavados y es indicada para uso de pocas familias. No obstante, hay modelos que se utilizan para



comunidades mayores y también para pozos perforados con diámetro más pequeño.

El desarrollo de la bomba de mecate se ha dado fundamentalmente en Nicaragua, generando un gran interés por su bajo costo, alto rendimiento, durabilidad y facilidad de mantenimiento. El modelo de la bomba se basa en un diseño milenario, conocido como “la bomba noria” que se ha modernizado y renovado en las últimas décadas.

En la actualidad se estima que hay 110.000 bombas de mecate que son usadas por 4 millones de personas. Estando 70.000 de las cuáles en Nicaragua y el resto en países vecinos principalmente.

No obstante, la simplicidad que presenta un sistema no significa en todos los casos facilidad a la hora de reproducirlo. Las bombas de mecate requieren calidad en su instalación y en su mantenimiento. Los estudios indican que el 90% de las bombas instaladas correctamente están funcionando 10 años o más.

2.3.3.2.2 Comparación Bomba de Mecate con Bombas recíprocas

Comparando la bomba de mecate frente a las bombas de émbolo o recíprocas, encontramos ventajas y desventajas.

Ventajas:

- Sencillez de reparación: En las bombas de mecate no hay una “caja negra”, el sistema se entiende y se ve. Las reparaciones son más baratas y después de formación los usuarios pueden hacer el mantenimiento semanalmente. Las piezas de repuesto son también más sencillas en el caso de la bomba de mecate que en el de las bombas recíprocas.



- Sentimiento de propiedad: Debido también a su sencillez y fácil comprensión, los usuarios se sienten orgullosos de poder manejarla y poder gestionar su uso.
- Bajo coste: A misma profundidad requerida y asumible por ambos modelos, las bombas de mecate son entre 5 y 10 veces más baratas, este rango de profundidad está entre los 6 y 35 metros. Lo que hace a las bombas de mecate mucho más asequibles para las familias y es una buena opción para el riego de los huertos.
- Ganancias generadas: En consecuencia del bajo coste en relación con la buena capacidad de bombeo. Hace que el retorno de la inversión que supone la instalación de una bomba de mecate se consiga entorno a un año. Los datos indican que las familias con un pozo excavado y una bomba de mecate ganan 220 dólares más que aquellas que no disponen de ellos.

Desventajas:

- La bomba de mecate es una bomba semi-abierta, ya que la cuerda sale a la superficie y puede ser tocada por los usuarios o ensuciada por el ambiente, al igual que el conducto de subida y bajada tienen hueco al descubierto, para que pasen los pistones, lo que es otro punto de riesgo de contaminación.
- Altura de bombeo: La bomba de mecate no puede bombear más alto que la altura de su rueda, posibilidad que sí ofrecen las bombas recíprocas.

2.3.3.2.3 Normas de diseño, problemas frecuente y coste

Se presenta un decálogo de directrices en el diseño de una bomba de mecate. Los principales productores recomiendan cumplirlo para obtener los resultados más óptimos.



1. El canal de la rueda debe tener forma de V, no de U, para mayor agarre de la cuerda a su paso.
2. La manivela debe estar a una distancia del eje igual al radio de la rueda más una pulgada.
3. El largo de los cojinetes será mayor de 60 mm y con una tolerancia entre 0,5 y 0,8 mm.
4. El diámetro del conducto de subida dependerá de la profundidad y su tolerancia estará entre 0,5 y 0,8 mm. A mayor profundidad menor diámetro, el cálculo utiliza una potencia de 70 W de media que puede producir un hombre y con medias de 100 rpm. Véase la figura 2.17.

Well depth [meters]	Pump capacity [l/min]	Pump pipe diameter
5	70	1 ¼" (ca 40 mm)
10	35	1" (32 mm)
20	17	¾" (26 mm)
35	8	½" (19 mm)
60	8	½" (19 mm, 2 handles needed)

Figura 2. 17

5. La longitud del tubo de descarga debe ser de 20 cm o más.
6. La tolerancia de los pistones en el tubo de subida debe ser de 0,5 a 0,8 mm.
7. La distancia entre pistones será de 1 metro.
8. La cuerda debe estar más bien floja, nunca con tensión.
9. El eje de la rueda debe estar a la altura del ombligo, si no, una plataforma será necesaria.
10. Si la corrosión es un problema, utilizar tubos y material galvanizado o anticorrosión.

Por otro lado, los problemas más frecuentes que presentan las bombas de mecate son:



- Desgaste de los cojinetes por desalineamiento. Tolerancia muy grande, escasez de lubricante o uso de grasa o aceite usado (se requiere aceite o lubricante nuevo). Los cojinetes deben estar limpios, no negros.
- Rotura de la cuerda, a menudo por mal alineamiento de la caja guía, o del conducto de bajada y de subida.
- Rotura del eje, manivela u otra parte de metal. Se debe por motivos de construcción o soldadura.
- Atascado de la cuerda o patinaje de la cuerda sobre la rueda. El atasco puede ser ocasionado por un elemento que esté obstruyendo algún conducto y el patinaje de la cuerda se deberá a la pérdida de la forma V en la rueda, habiéndose convertido en U.

En cuanto al coste de adquisición de los modelos estándar populares, (que serán descritos en el próximo punto) y mantenimiento de los mismos:

- El coste de adquisición varía entre 70 y 200 US\$ dependiendo del modelo, el coste de los materiales, del trabajo y de la eficiencia en la producción. En los proyectos de instalación de bomba de mecate se suelen incluir los costes de instalación, formación a los usuarios, tiempo para formar comités de agua, tutorización, etc. El precio mencionado no incluye la construcción del pozo.
- El coste de mantenimiento varía entre 5 y 30 US\$ por año. El coste consiste principalmente en lubricante para los cojinetes de forma semanal y en posibles reemplazamientos de cuerda o pistones. La frecuencia de estos recambios depende del uso y de la calidad de los mismos. Cojinetes en Nicaragua han durado 20 años, las cuerdas varían entre 6 meses y 6 años. Los pistones por lo general duran dos veces más que la cuerda. Los conductos de subida o la caja guía a penas sufren desgaste, pero las partes de PVC expuestas al sol deben ser gruesas, de calidad y estar protegidas con pintura.



2.3.3.2.4 Variantes de diseño actuales

Existen dos modelos de referencia en la construcción de las bombas de mecate. Por un lado tenemos la bomba de Nicaragua, que es propia del país cuna de la bomba de mecate, y por otro lado la bomba de Madagascar, variante de diseño que se produjo tras adoptar y desarrollar el concepto de bomba de mecate el gobierno de Madagascar.

Las especificaciones y diferencias de diseño entre ambas no son muchas y hay que tener en cuenta que cada una se ha amoldado a la situación y tecnología que disponen en su país.

A continuación se presentan dos figuras dónde se pueden apreciar algunas de las diferencias de diseño.

A) BOMBA DE NICARAGUA

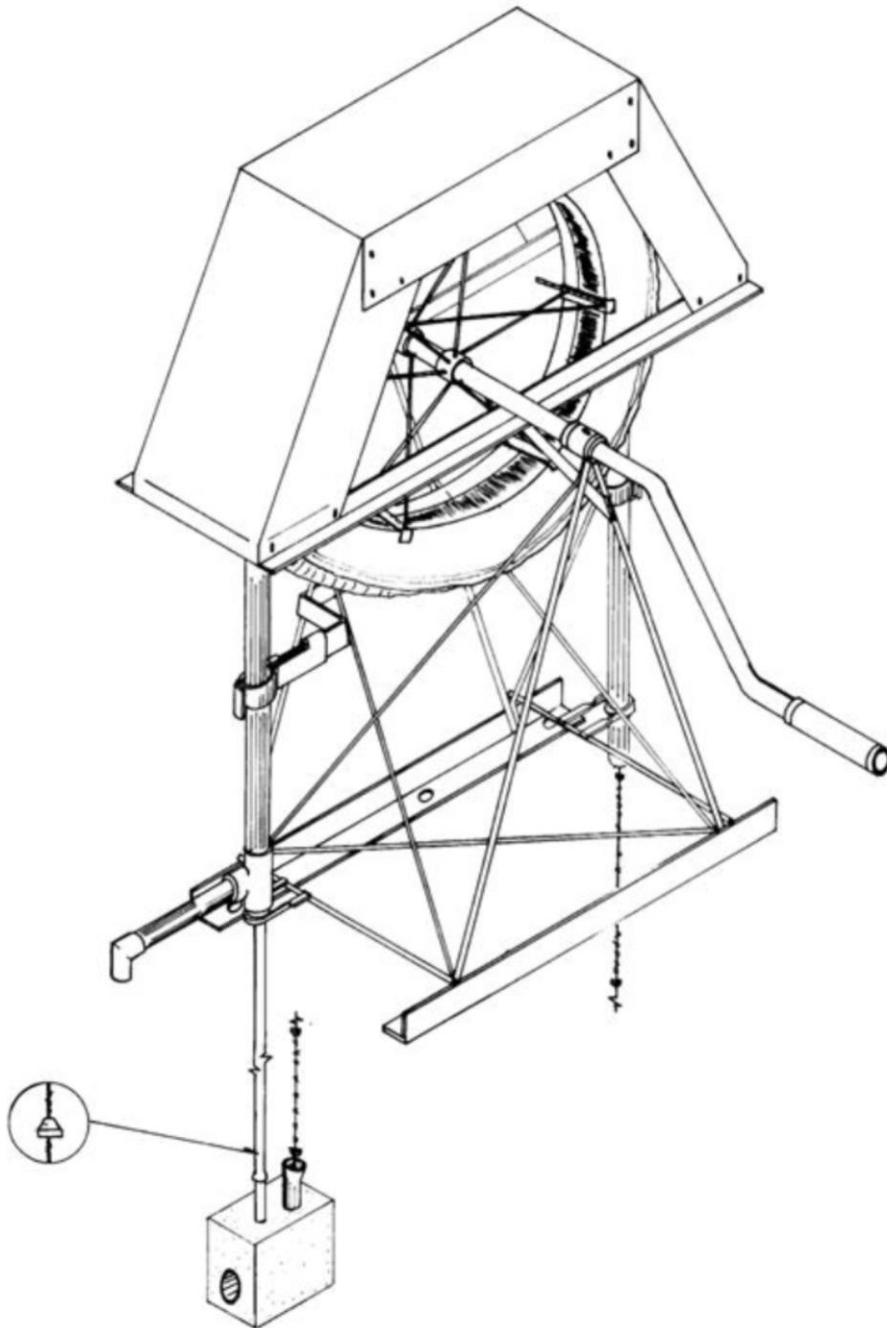


Figura 2. 18

B) BOMBA DE MADAGASCAR

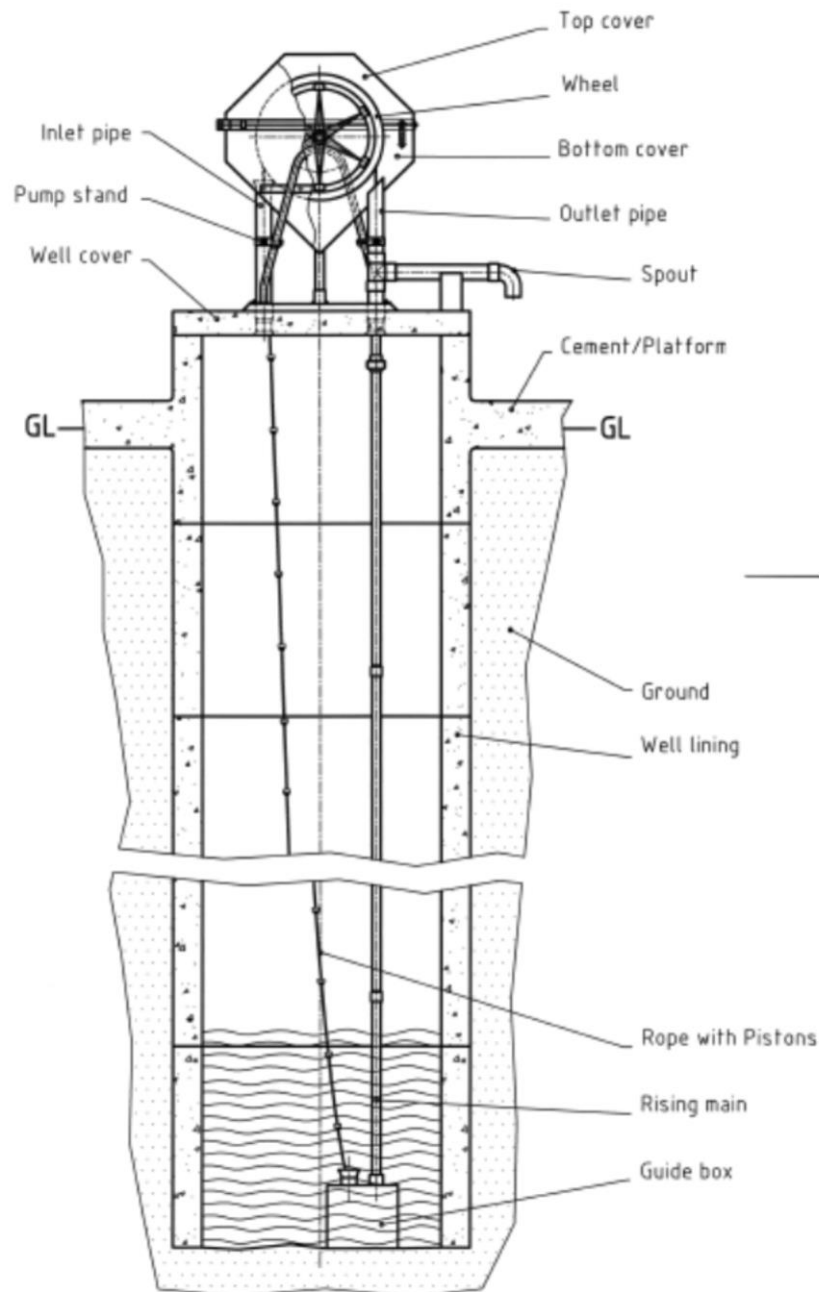


Figura 2. 19

Las principales diferencias de diseño están en la forma de la estructura superior; en los cojinetes, dónde la bomba de Nicaragua prescinde de los cojinetes de madera que si están presentes en la bomba de Madagascar; y en la caja guía,



dónde el material empleado en la bomba de Madagascar es una botella de cristal y en la de Nicaragua es cerámica.

La bomba de mecate que está en las instalaciones de la Universidad ha adoptado soluciones acorde a sus necesidades y cuando ha sido necesario elegir se ha optado por el diseño de la bomba de Madagascar, como por ejemplo los cojinetes y la caja guía.

A continuación se va a comenzar a analizar la bomba que está en las instalaciones de la Universidad. Empezando por la descripción de la situación inicial, para posteriormente estudiar las mejoras implantadas y sus resultados.

2.3.3.2.5 Modelo de funcionamiento

En este apartado se mostrarán las ecuaciones matemáticas que nos sirven para caracterizar de manera teórica los principales parámetros que definen el funcionamiento de una bomba de mecate.

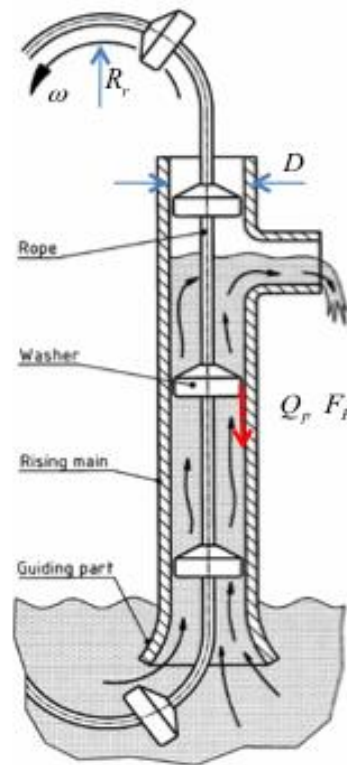


Figura 2. 20: Fuerzas, caudal y variables plasmadas en la imagen

1) Caudal teórico que extrae la bomba.

$$Q = \left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{V_{P+C}}{H} \right) \omega R_r - Q_p$$

Siendo:

V= volumen de los pistones y de la cuerda

H= Altura de la tubería de subida

R= radio efectivo de la rueda

$Q_p = \text{Caudal de pérdidas, } f(\text{pistón, } \omega R_r, H, d_{\text{pistones}})$

El caudal de pérdidas viene dado experimentalmente entre estos valores, dónde varía en función de la frecuencia y el diámetro del pistón. Se considera también el régimen el flujo.

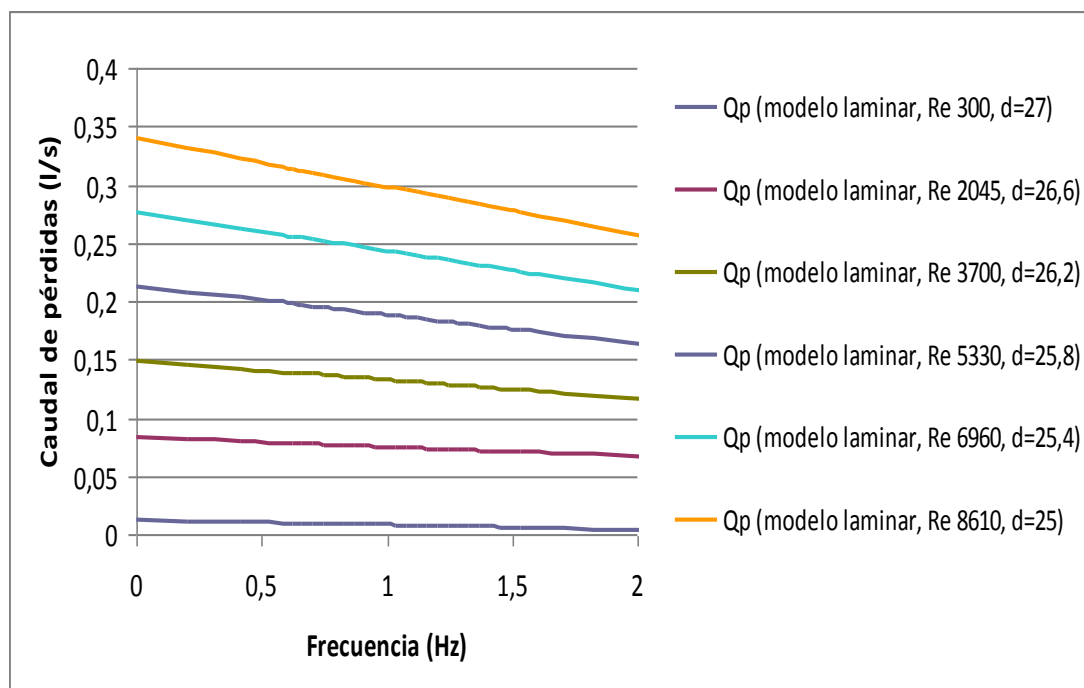


Figura 2. 21

2) Esfuerzo teórico de la bomba

$$F = \rho g H \frac{\pi D^2}{4} + F_R$$

Siendo:

$$F_R = f(\text{pistón-rueda-caja}, T, H, \omega R_r)$$

$$F_R = F_{R,Sup} + F_{R,Inf} + F_{R,P-T}(H)$$

En cuanto a la fuerza de rozamiento, se define experimentalmente. En este caso lo que se define es la fuerza de arranque. Es decir la fuerza de rozamiento que es

necesaria vencer para que se pueda mover la manivela, se encuentra en función de la tensión aplicada en la cuerda, para que esta no deslice en la rueda. Esta tensión, sin embargo, debería ser mínima o inexistente. Como se explicará en el punto 3.1.3.2.

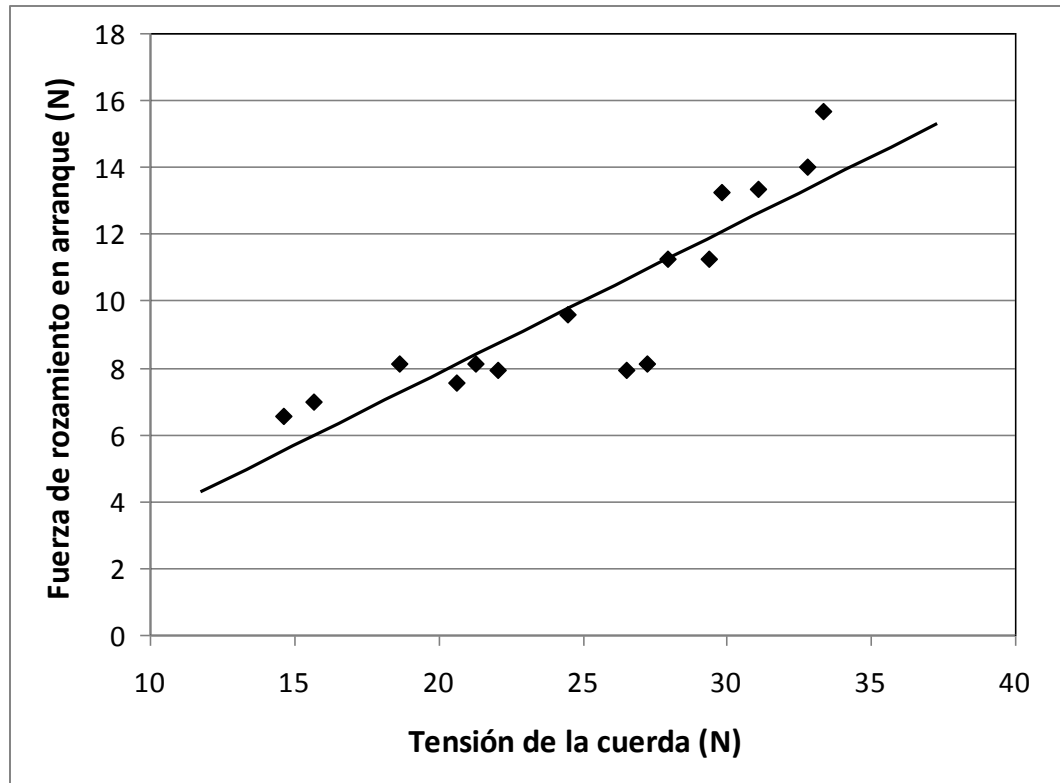


Figura 2. 22

3) Rendimiento de la bomba

La expresión del rendimiento total de la bomba es:

$$\eta_B = \frac{\rho g H Q}{F \omega R_r}$$

Viniendo esta de la simplificación de por un lado, el rendimiento volumétrico de la bomba y por otro, el rendimiento mecánico.

a) Rendimiento volumétrico

$$\eta_V = \frac{\left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{V_{P+C}}{H} \right) \omega R_r - Q_p}{\frac{\pi D^2}{4} \omega R_r}$$

b) Rendimiento mecánico

$$\eta_F = \frac{\rho g H \frac{\pi D^2}{4}}{\rho g H \frac{\pi D^2}{4} + F_R}$$

Multiplicando los rendimientos a) y b) se obtiene el rendimiento total de la bomba, que resulta la ecuación inicial.

$$\eta_B = \eta_V \eta_F ; \text{ y simplificando:}$$

$$\eta_B = \frac{\rho g H Q}{F \omega R_r}$$



3. Caracterización de la instalación

3.1 Revisión y acciones iniciales

3.1.1 Antecedentes. Instalación inicial

Anteriormente a este proyecto, ha habido entorno a la bomba de mecate ubicada en las instalaciones del laboratorio de Tecnologías Apropriadas para el desarrollo varios alumnos más que trabajaron con ella para su proyecto final de carrera. A continuación, se van a enumerar para poder conocer la vida y las condiciones de uso que ha tenido antes de arrancar con el proyecto actual.

- 1) Javier Tobella Arredondo. Diseño, montaje y ensayo de una bomba de mecate.

Marzo de 2011. Se encargó de la fabricación de la bomba desde cero, seleccionando los diferentes componentes. Dio una primera caracterización a la bomba y estudio los parámetros principales de caudales y rendimiento.

- 2) Sergio Ruiz Martín. Instrumentación, adquisición de datos y ensayo de bici-bombas de mecate.



Junio de 2011. Se ocupó de realizar mejoras estructurales y de componentes, como los cojinetes o los pistones, pero la principal ocupación fue el acople de una bicicleta como sistema motor de la bomba y el estudio de fuerzas y par con ese sistema.

- 3) Manuel Patrón Codesino. Caracterización de bombas y bici-bombas de mecate.

Julio de 2012. Desempeñó tareas de estudio más teórico, relacionando diferentes parámetros que intervienen en el funcionamiento de la bomba, como pueden ser las fuerzas de rozamiento de los diferentes componentes, variaciones de la frecuencia de bombeo frente al tiempo o la potencia en función de la altura.

- 4) Isabel Madrid Madrid. Ensayo, modelado y motorización de bombas de mecate.

Junio de 2014. Su principal función fue acoplar un motor eléctrico a la bomba de mecate, para simular y estudiar su funcionamiento en condiciones de campo. Siendo el último proyecto, será el proyecto referencia desde el que se compararán y evaluarán las modificaciones y estudios realizados.

Como se puede observar, la bomba de mecate de la universidad ha tenido una vida con mucha actividad, especialmente en la última parte con la motorización. Ha bombeado muchos litros. A continuación, se tratará el momento en que se comenzó a trabajar con la bomba, abril de 2014, cuando se procedió a su reconstrucción y puesta a punto.

3.1.2 Tareas menores. Puesta a punto

Debido a su uso y a la realización de experimentos y ensayos con diferentes configuraciones de la bomba, (motora, tensión de la cuerda, etc.), la instalación se encuentra con componentes residuales de proyectos anteriores y pruebas.



Desajustes entre sus componentes y el desgaste de algunos de ellos se ven con facilidad; estructura, rueda, manivela, cojinetes, etc.

La forma de abordar esta situación fue reemplazando, reparando o ajustando aquellos elementos obvios, que habían sido dañados o descolocados, que se consideró no iban a ser objeto de estudio para mejora en este proyecto.

Así pues, se procedió a una desmontaje de los componentes principales para a continuación volver a montarlos para asegurarse de una puesta a punto óptima para nuestras futuras configuraciones y mejoras.

- Limpieza general

Antes de comenzar con la reconstrucción de la instalación se limpió cada una de las partes al encontrarse un tanto descuidadas por el desuso previo al inicio del proyecto.

- Estructura metálica

Reajustar la estructura metálica, con el cambio de tornillería necesaria, añadiendo y modificando alguna barra de sujeción para triangular mejor la estructura.

- Tuberías PVC

Apretar y anclar correctamente la tubería por la que ascienden los pistones y la cuerda para evitar las vibraciones y movimiento que encontramos al principio.

3.1.3 Propuesta inicial de alternativas de diseño

Con el fin de adecuar y reproducir el funcionamiento de la bomba de mecate en buenas condiciones de trabajo, se considera oportuno estudiar la viabilidad de llevar a cabo las siguientes alternativas en el diseño para un mejor trabajo y análisis, sin comprometer en ningún momento la caracterización inicial que se



llevará a cabo después y que servirá de pilar para el estudio y búsqueda de optimización de la bomba de mecate.

3.1.3.1 Desagüe

La situación de la instalación actual consta de un barreño con 120 milímetros de altura y 374 milímetros de diámetro interior, aproximando este a una forma cilíndrica perfecta.

Este se sostiene sobre la misma tubería de bajada, siendo una estructura un tanto inestable. En la figura que se muestra a continuación se ve en detalle el sistema.



Figura 3. 1: Sistema de desagüe previo

Las razones de peso obligan el cambio son:

- 1) Con el fin de poder caracterizar la bomba una vez reconstruida, para afirmar que se trata de la misma bomba con los mismos parámetros y especificaciones que la utilizada en proyectos anteriores, se realizan mediciones de caudal en función de la frecuencia, apareciendo un problema de



capacidad en el depósito del retorno en frecuencias superiores a 1 hz en ensayos de 1 min.

2) Otro motivo por el cuál se decide cambiar el retorno es evitar la formación de vórtices en la transición del agua acumulada en el barreño hacia la tubería de bajada.

Por lo tanto, se procede a desarrollar un nuevo sistema de desagüe con más capacidad, para realizar ensayos más precisos. Asentado en el suelo de la instalación, para mayor estabilidad. Y con una cuádruple tubería de bajada en la transición barreño-bajada, que posteriormente se unirán a la tubería de bajada previo al paso por el caudalímetro, se evita así la formación de vórtices o remolinos que puedan perturbar las mediciones que se tomen del caudalímetro. Puesto que ya se demostró su influencia en el Trabajo Fin de Grado Ensayo, modelado y motorización de bombas de mecate por la compañera Isabel Madrid Madrid.

Para el cálculo en el tamaño del barreño se utiliza como apoyo los caudales obtenidos en las mediciones previas a alta frecuencia, con intervalos de tiempo de 15 segundos, lo que permitía el anterior barreño, para estimar cuantos litros se estancarían debido a la diferencia que hay entre el caudal de la bomba y el caudal del desagüe por gravedad. Esta diferencia de caudales multiplicado por el tiempo que se prolongue (mediciones de 1 minuto) será la capacidad que ha de tener el nuevo depósito.

Cálculos realizados:

- Caudal máximo teórico del desagüe.

Consideramos el barreño y la entrada al conducto de bajada un depósito con un orificio sin boquilla, para poder calcular así mediante la ecuación de Bernoulli

la velocidad a la que sale por la tubería. Esta será máxima cuando el barreño está a su máxima capacidad, por lo que consideraremos este caso.

Datos:

$$h_{\text{depósito}} = 120 \text{ mm}$$

$$D_{\text{tubería}} = 19 \text{ mm}$$

$$\frac{v_1^2}{2} + \frac{P}{\rho} + gz_1 = \frac{v_2^2}{2} + \frac{P}{\rho} + gz_2$$

Considerando v_1 y z_2 igual a 0,

Despejamos v_2 :

$$v_2 = \sqrt{2gz_1} = 1,534 \frac{m}{s}$$

Y sabiendo el diámetro de la sección de la tubería de bajada, podemos calcular el caudal máximo que desaloja.

$$Q_{\text{desagüe}} = \sqrt{2gz_1} \cdot S_{\text{tubería}} = 0,435 \frac{l}{s}$$

$$\text{Donde, } S_{\text{tubería}} = \pi r^2 = 2,834 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

- Caudal máximo experimental del desagüe.

Para realizar la prueba experimental se acotará un volumen de agua en el barreño una vez lleno y se medirá el tiempo que tarda en vaciarse dicha cantidad.



Con el tiempo y la cantidad de litros desalojados se obtiene de manera directa el caudal experimental.

El resultado que se obtenga será el que se utilice para caracterizar el futuro sistema de retorno. Este método resultará más eficaz en este caso, puesto que en el modelo teórico no se tienen en cuenta la influencia de los codos, tuberías, caudalímetro, cantidad de agua circulando en el conducto de bajada, etc.

Los tiempos que se van a medir es el que necesita el desagüe para evacuar 6,6 l desde que está lleno, hasta que los pierde. Para ello se utiliza un cronómetro que se accionará en el momento en que el barreño este lleno y se parará en el momento en que el nivel del agua alcance la marca realizada en el barreño que nos indica que ya se ha desalojado 6,6 l.

Los resultados son:

Litros desalojados	Tiempo en segundos
6,6	9,36
6,6	9,01
6,6	9,55
6,6	10,09
6,6	9,44

Tiempo medio = 9,49 seg.

Con lo que podemos calcular directamente el caudal experimental:

$$Q_{\text{exp desagüe}} = \frac{6,6 \text{ l}}{9,49 \text{ s}} = 0,695 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$



Contrastando ahora este caudal con el caudal experimental de la bomba a alta frecuencia se podrá concluir con la capacidad requerida para el nuevo desagüe.

a)

$$Q_{\text{exp } 1,5 \text{ hz}} = 0,966 \frac{l}{s} ;$$

Agua acumulada en el depósito:

$$C_1 = (Q_{\text{exp } 1,5 \text{ hz}} - Q_{\text{exp desagüe}}) \cdot t_{\text{ensayo}} = 16,3 l$$

Una vez concluidos los cálculos se procedió a la adquisición del material y la construcción de la nueva instalación. Para ello se emplearon:

- Tubería PVC de 32 mm.
- Tubería flexible de PVC de 32 mm.
- Codos PVC. 4 uds de 87º, 2 uds de 67º y 2 uds de 45º.
- Unión tipo T de PVC 3 uds.
- Roscas PVC 4 machos y 4 hembras
- Arandelas de goma para la unión con el depósito, 8 uds.
- Pegamento tuberías de PVC 250 ml.
- Depósito de plástico de 30 litros.

La nueva estructura del desagüe queda descrita en las siguientes imágenes.



Figura 3. 2: Se muestra la parte del desagüe visible desde la planta inferior



Figura 3. 3: Se muestra la parte superior del desagüe, el depósito

3.1.3.2 Rueda

Se parte con la rueda inicial de la bomba, aparentemente en buenas condiciones para su funcionamiento.



Figura 3. 4: Perfil y lateral de la rueda inicial

La robustez de los radios, al ser la llanta de aleación, es aceptable, así como el tamaño de los mismos dentro de las medidas recomendadas, entre 200 y 300mm.

Sin embargo, la forma de la goma del canal por donde pasa la cuerda; que debe asegurar la fricción lateral para permitir disminuir la tensión de la misma y que debe quedar ligeramente suelta para disminuir la fuerza a aplicar, no se considera con la forma adecuada para conseguir esos objetivos. De hecho al realizar las primeras pruebas, se comprueba que la cuerda ha de estar tensionada para que no deslice en la rueda, incumpliendo uno de los principios de funcionamiento de la bomba de mecate.

A pesar de ello, se opta por comenzar con la rueda inicial para conseguir la caracterización inicial que se describe en el punto 3.2. ya que los anteriores alumnos que trabajaron con la bomba emplearon esta rueda.

No obstante, posteriormente se fabricará un modelo que cumpla con los requisitos de diseño para estudiar los resultados, y compararlos con los de la rueda actual, se verá dentro del punto 3.3.

3.1.3.3 Manivela

Se tiene una manivela inicial que ha sido fabricada y reforzada en proyectos anteriores.



Figura 3. 5: Manivela inicial con refuerzos en los ángulos.

Como requisitos a cumplir por este elemento de la bomba de mecate:

El eje debe estar a la altura del pecho o de las caderas (hay cierta discusión) del usuario típico. Otras posiciones, más elevadas o más bajas, dificultan mucho el trabajo al bombear.

Debe ser de material resistente y lo más corta posible (unos 23 cm para el apoyo de las manos). Esto evita roturas habituales al colgarse de ella, al poder jugar los niños sobre ella.

El radio de la manivela debe ser similar al de la rueda, para evitar velocidades altas de la cuerda (entre 1 y 2m/s es correcto, para minimizar rozamiento y desgaste). Se suele hablar de un radio de la manivela una pulgada mayor que el radio de la rueda, citando motivos ergonómicos. Al emplear una bicicleta se



intentará elegir dos platos con una relación que mantenga estas velocidades de rueda.

En la zona de colocación de las manos se añade un tubo exterior, libre y de diámetro adecuado para el agarre, que permite dar vueltas a la manivela sin que rote el tubo.

El requisito que no se cumple es el largo de la manivela, sin que sea en este caso un factor determinante para su estudio, ya que el riesgo de niños jugando solo se da en campo, no obstante, el que sea tan larga puede ocasionar ciertos momentos de giro palpables en el uso de la bomba.

Por otro lado, la colocación de un tubo exterior libre para su giro, no se considera imprescindible en el uso que se le va a dar en el laboratorio.

3.1.3.4 Cojinetes

En el caso de los cojinetes, los que se encuentran funcionando en el momento de comenzar el presente proyecto se encuentran muy deteriorados. Por lo que se plantea desde un primer momento su reemplazamiento.

Para ello, primero se extrae de fuentes bibliográficas que características principales que deben cumplir los cojinetes de las bombas de mecate. Siendo estas las siguientes:

- Los más comunes son de madera (preferible) o metálicos. Ante un fallo de lubricación, la madera rechina, pero no se rompe.
- La holgura entre el cojinete y el eje de la manivela debe estar entre 0,5 y 0,8mm para asegurar una correcta lubricación.
- La longitud de los cojinetes debe asegurar el alineamiento. Por encima de 7cm con la holgura previa es suficiente.
- Algunos cojinetes metálicos cuentan con un taladro de engrase. Se suele optar por diámetros de unos 6mm, para permitir la entrada de aceite pero no la de agua de lluvia.



Se opta por elegir la opción de fabricar unos cojinetes de madera, para no influir en el comportamiento que tenía la bomba al escoger otro material para los cojinetes, y porque se considera que simulando una situación de campo, la fabricación y mantenimiento de estos cojinetes cumple con el concepto VL0M, (punto 2.2.3).

A continuación, se detalla el procedimiento de fabricación de este tipo de cojinetes, así como los conocimientos previos que se han de tener en consideración.

En cuanto a la elección de la madera, una de las características esenciales para su elección es la dureza:

- Cuanto más dura sea la superficie de apoyo del eje, menor será la deformación y más pequeño será el coeficiente de rozamiento
- Cuanto más dura sea la superficie de apoyo del eje, menor será el nivel de desgaste
- Cuanto más dura sea la superficie de apoyo del eje, menor será la probabilidad de que exista una ruptura prematura, chamusquina e incluso, en última instancia, el incendio de la misma.
- Cuanto más dura la superficie de apoyo, más grande será su fuerza.

También merece la pena recalcar que, cuanto más dura sea la madera, mayor será su peso y más complicada resultará para trabajar.

El exceso de grasa en la madera es una consideración que se debe tener en cuenta cuando los cojinetes, o rodamientos, no están por la labor de recibir la lubricación adecuada durante su servicio. Algunos de los indicadores más prácticos ayudan a identificar aquellas maderas que pueden tener buenas propiedades auto lubricantes son:

- Se pulen con facilidad

- No reaccionan ante los ácidos
- Son difíciles de impregnar con barniz.
- El pegamento no se pega a ellos con facilidad.

Otras consideraciones a tener en cuenta:

El alto contenido de humedad provoca una reducción en la dureza y resulta en un mayor desgaste. Para más aplicaciones, es preferible una baja humedad y el exceso de la misma se debe evitar para prevenir una consecuente contracción, especialmente si el cojinete es para ser usado como un casquillo. La parte de madera más dura se encuentra en el tronco principal, justo debajo de la primera rama.

La dirección de la fibra debe considerarse a la hora de realizar la perforación dónde girará el eje, este ha de ser realizado en dirección perpendicular al plano de crecimiento, o dicho de otro modo, paralelo al plano donde se aprecian los anillos de crecimiento. También la cercanía de la fibra ha de considerarse para proporcionar dureza al desgaste de la superficie.

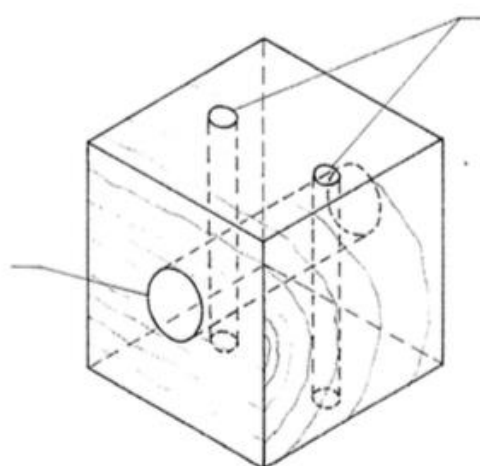


Figura 3. 6: Se aprecia la dirección correcta del agujero

Conforme con lo anterior, se elige madera de haya; siendo de las más duras del mercado y precio asequible, y se decide realizarlos el tratamiento con aceite para conseguir su máxima duración. En la siguiente figura se muestra uno de los cojinetes antes del tratamiento, cortado con medidas exigidas por la instalación y el taladro realizado para el eje de la manivela.



Figura 3. 7: Cojinete de haya

Método seguido para la obtención de los cojinetes lubricados con aceite

En ocasiones, la madera de la que se dispone presenta dudosas capacidades de auto lubricación y alto contenido en humedad. En estos casos, existe un simple proceso para realizar empapados de aceite, según el Centro de Desarrollo Industrial, en Zaria, Nigeria. El exceso de agua es eliminado, y la consecuente contracción se previene. Los pasos que se siguen son:

- Reducir la madera a una sección transversal cuadrada y realizar una perforación a través del centro del mismo diámetro que el tubo de sujeción, donde el rodamiento estará trabajando.

- Colocar los bloques en un recipiente metálico en aceite de cacahuete comercial y mantenerlos sumergidos mediante la colocación de un ladrillo en la parte superior. Aumentar la temperatura del aceite hasta que el agua de la madera se convierta en vapor, esto le dará al aceite la apariencia de hervir vigorosamente. Mantenga la temperatura hasta que solo los flujos individuales de burbujas de tamaño diminuto estén subiendo a la superficie del aceite. Esto nos llevará entre 30 minutos y 2 horas, dependiendo de la humedad que contenga la madera.

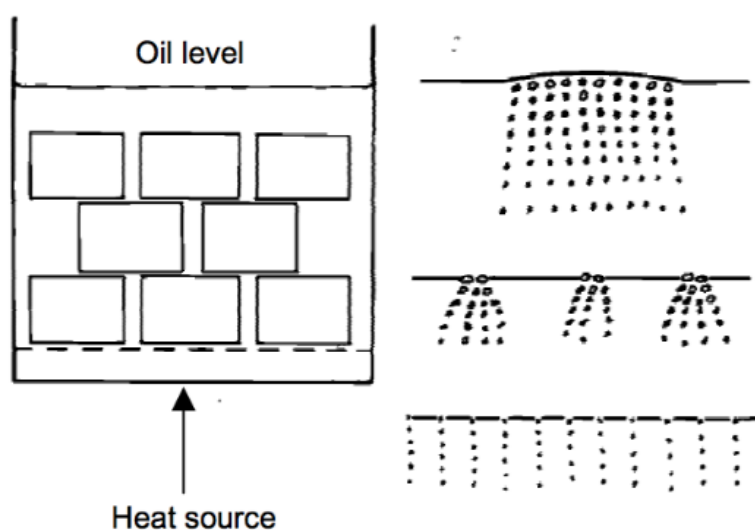


Figura 3. 8: Evolución de las burbujas según la humedad se va eliminando



Figura 3. 9: Cojinetes inmersos en aceite, desorbiendo humedad

- Retirar la fuente de calor y dejar los bloques de aceite enfriar durante la noche si es posible. Durante esta fase la madera absorberá el aceite. Si la temperatura del aceite llega a estar muy alta una vez las burbujas han dejado de aparecer, la madera se transformará en carbón y los cojinetes se arruinarán.
- Volver a taladrar el orificio central para compensar cualquier contracción que haya podido tener lugar.

Al terminar este proceso, los nuevos cojinetes están listos para trabajar. Se procede a instalarlos en la bomba con los elementos de sujeción existentes para los anteriores cojinetes, se plantea y estudia alguna alternativa para evitar

oscilaciones detectadas al girar la manivela. No obstante, se concluye que no es problema de los útiles de sujeción de los cojinetes, si no que es la estructura la que padece durante el funcionamiento y la que se decide estudiar como mejora, véase en el siguiente apartado.

3.1.3.1 Estructura

Tras la instalación de los nuevos cojinetes, se detecta movimiento de la estructura durante las condiciones de trabajo, por lo que se decide parar y examinar las condiciones iniciales, (en la siguiente figura se muestra la estructura inicial) para paliar estos problemas.



Figura 3. 10: Estructura en la situación de inicial.



Como se aprecia en la imagen, a primera vista, la forma de prisma de la estructura carece de elementos que formen una estructura triangulada, para garantizar su robustez.

Del mismo modo, se analizan los elementos críticos durante el funcionamiento. De esta observación, se extrae que no es tanto el problema de falta de triángulos en la estructura con refuerzos en sus caras, puesto que no existe oscilaciones en la estructura con respecto la base. Si no, que debido al perfil con el que está hecha la estructura, perfil de 90º con perforaciones, que también se aprecia en la imagen anterior, en la parte donde apoyan los cojinetes se produce un momento durante el funcionamiento que torsiona la barra superior.

Se considera por tanto reforzar ese punto, que aparece señalado en la siguiente figura en uno de los dos cojinetes, siendo igual para el otro cojinete. Para ello, se instalan unas escuadras de acero galvanizado, consiguiendo en pruebas sucesivas una mejora sustancial en la deformación de la barra durante el funcionamiento de la bomba, siendo esta prácticamente nula. Ver el resultado en la siguiente figura.



Figura 3. 11: Escuadras de refuerzo para la zona de apoyo de los cojinetes

3.1.3.5 Freno

Se procede a hacer una preinstalación y diseño de freno para la que será nueva rueda, que como se indicó en el punto 3.1.3.2 se fabrica posteriormente para comparar los modelos.

Se define freno de la rueda en la bomba de mecate de las instalaciones, al mecanismo encargado de ejercer una fuerza cuantificable y contraria al movimiento de subida de agua de la manivela, para conseguir unas condiciones de trabajo simuladas, pudiendo simular diferentes profundidades y analizar así resultados en diferentes situaciones. Cuanto mayor sea la fuerza que ejerce el freno, mayor será la profundidad simulada.



En la fabricación de la nueva rueda se tiene en cuenta este factor y se incluirá un disco de freno anclado al eje, para que este gire solidario con la rueda.

El mecanismo encargado de hacer frenar ese disco ha de tener entre sus componentes un dinamómetro de tal manera que se pueda cuantificar la fuerza de frenado que se realice contra el giro de la rueda, para poder traducir esa fuerza en peso de agua de una columna de agua y poder estudiar así las diferentes alturas simuladas.



3.2 Caracterización inicial

Una vez se dispone de la bomba en condiciones de trabajo habiendo realizado las primeras acciones y alternativas de diseño realizadas. Se procede a la toma de medidas con el fin replicar el funcionamiento y los resultados de los anteriores proyectos. De esta manera, se parte de una base firme de comparación, respaldada con datos y resultados, para empezar a pensar en estudios de mejora posteriores.

3.2.1 Caracterización previa

Se seleccionan resultados de dos de los últimos ensayos que se realizaron, siendo estos los que se espera reproducir en las medidas a realizar tras la puesta a punto descrita en el punto 3.1.2. para conseguir las condiciones de partida documentadas de la bomba de mecate.

3.2.1.1 Caudal de pérdidas en estático

Este es el caudal de pérdidas que existe con la rueda de la bomba sin girar, es decir, sin movimiento de la manivela, pero justo en el instante después de haber estado bombeando agua, para tener toda la tubería de subida llena de agua.

Se calcula midiendo el tiempo que transcurre en vaciarse de agua un tramo medido de la tubería de subida una vez se para el giro de la manivela. Se calcula el volumen de agua que contiene ese tramo de la tubería de subida, suficientemente amplio para dar validez a las medidas, y se procede a medir el tiempo que tarda en desalojar dicho volumen, obteniendo de esta manera el caudal de pérdidas de la bomba de mecate en cuestión.

Véase en la fórmula empleada:

$$Q_p = v_p \cdot A_{Totaltubería} = \frac{H}{t_{vaciado}} \left(\frac{\pi}{4} (D_{tubería}^2 - D_{cuerda}^2) \right)$$

Respecto a este ensayo, disponemos de los datos de partida y resultados de Isabel Madrid, para un tramo de tubería de 3 metros, los cuales se aprecian en la siguiente figura:

Tiempo de vaciado (s)	Q pérdidas estático (l/s)
8,45	0,202
9,1	0,187
9,02	0,189
8,65	0,197
8,5	0,201
8,8	0,194
9	0,190
8,6	0,198
8,4	0,203
8,7	0,196

Figura 3. 12: Medidas de tiempo tomadas y resultados de caudal de pérdidas

Realizando la media aritmética de los resultados de caudal de pérdidas, Isabel Madrid obtuvo un resultado de:

$$Q_p = 0,196 \text{ l/s}$$

3.2.1.2 Caudal de pérdidas en función de la frecuencia

Se trata de medir la evolución del caudal de pérdidas que tiene la bomba a diferentes frecuencias de giro de la manivela.

De esta manera, se caracteriza la frecuencia óptima o el rango de frecuencia apropiado de la bomba dónde el caudal de pérdidas de la bomba se minimiza.

De nuevo Isabel Madrid fue la última compañera en realizar este ensayo, estos resultados y conclusiones serán el objetivo a perseguir para conseguir replicar la bomba de mecate en su óptimo funcionamiento y alcanzar el punto de partida desde el que poder comparar posteriores mejoras.

Aunque más adelante se explicará la técnica de medida empleada en este proyecto y los cálculos realizados, para un primero contacto se puede decir que:

El cálculo del caudal de pérdidas consiste en la resta entre el caudal teórico de la bomba a una frecuencia determinada y el caudal experimental, obtenido trabajando con la bomba a dicha frecuencia. La cantidad de agua bombeada es medida por el caudalímetro situado después del desagüe.

El caudal teórico es calculado por la ecuación:

$$Q = v_{\text{SubidaPistón}} \cdot (A_{\text{TotalTubería}} - A_{\text{cuerda}}) \cdot \varphi = \omega \cdot R_{\text{rueda}} \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{InteriorTubería}}^2 - \pi \cdot D_{\text{cuerda}}^2) \right) \cdot \varphi$$

Siendo:

La velocidad de subida del pistón:

$$v_{\text{SubidaPistón}} = \omega \cdot R_{\text{rueda}}$$

La velocidad angular de la rueda, directamente proporcional a la frecuencia:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

El factor de corrección

$$\phi = \frac{(H_{FA} \cdot A_T - V_{pistón})}{H_P \cdot A_T}$$

- El factor de corrección tiene en cuenta el volumen de los pistones que están en la tubería de subida durante el trabajo de la bomba. Sin este factor de corrección, el volumen de los pistones, sería considerado como de agua, algo incierto. No obstante, los valores del factor de corrección en este caso está muy próximo a 1, ya que el volumen de la tubería es mucho mayor que el de los pistones.

A continuación, se muestran sus medidas a diferentes frecuencias y la gráfica de dichos resultados.

f (Hz)	Q pérdidas (l/s)
0,37	0,18656
0,47	0,21185
0,50	0,22584
0,53	0,22315
0,57	0,22047
0,67	0,18073
0,77	0,10929
0,87	0,06286
0,97	0,02893

Figura 3. 13: Tabla resultados. Ensayo caudal de pérdidas en función de la frecuencia

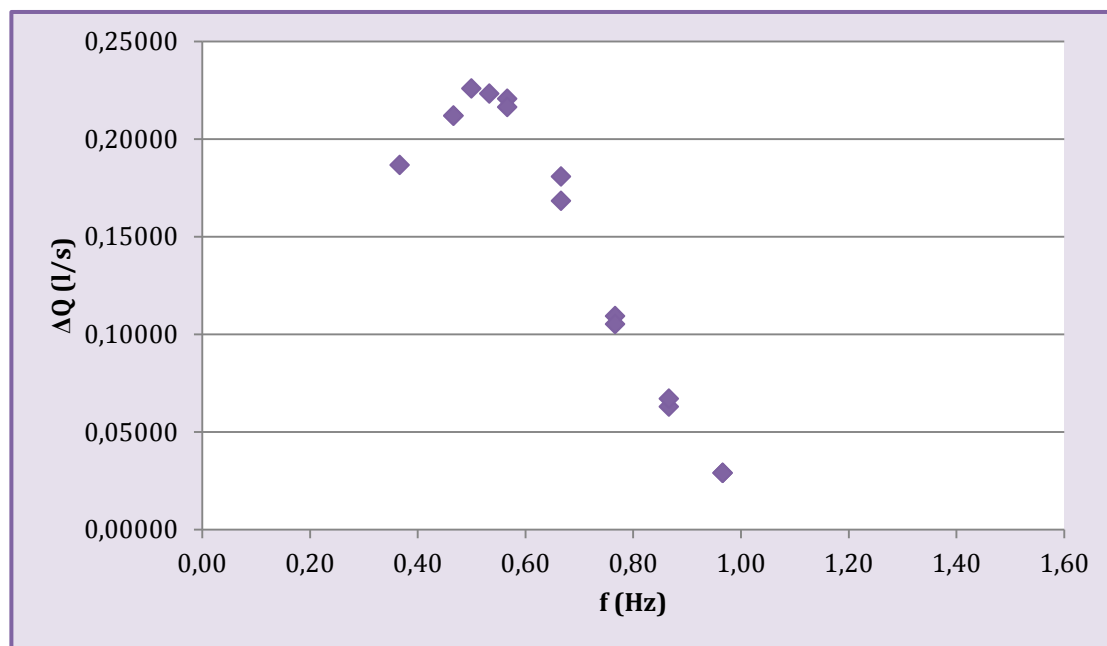


Figura 3. 14: Gráfica resultado del ensayo

Se puede observar tanto en la tabla como en la gráfica, que a medida que aumenta la frecuencia de bombeo, el caudal de pérdidas disminuye, llegando a valores próximos a cero.

Como peculiaridad hallada por Isabel Madrid, a frecuencias menores de 0,6 hz, el caudalímetro toma medidas erróneas. Este indica que la cantidad de agua bombeada es mayor a la real.

Se comprobó tirando por el desagüe cantidades de agua (bombeadas a diferentes frecuencias) medidas previamente y observando que las cantidades de agua que señalaba el caudalímetro eran mayores. Para solucionarlo se calculó una ecuación que corrigiese el desvío en el caudal de este en función de la frecuencia.

Esta ecuación calculada por Isabel Madrid fue:

$$\Delta Q = -0,1578 \cdot f + 0,0994$$

El valor que resulta de esta ecuación se resta a la medida experimental tomada, siguiendo la siguiente ecuación:



$$Q_{caud} = Q_{exp}; Q_{cubo} = Q_{expcorrección} \rightarrow \Delta Q = Q_{caud} - Q_{cubo} \rightarrow Q_{expcorrección} = Q_{exp} - \Delta Q$$

Este mal funcionamiento del caudalímetro a bajas frecuencias se tendrá en cuenta en el momento de replicar el ensayo. En los puntos 3.2.2 y 3.2.3 se describirá cómo se ha trabajado con la bomba y que resultados se han obtenido en la búsqueda de coincidir con la caracterización inicial de proyectos anteriores.

3.2.2 Realización ensayo 1. Caudal de pérdidas en estático

Empezando por el primer ensayo descrito, se procede a medir el caudal de pérdidas en estático, explicado con más detalle en el punto 3.2.1.1, consiste en medir el tiempo que tarda en vaciarse un volumen concreto de la tubería de subida.

3.2.2.1 Técnica de medida

Gracias a que la tubería de subida de la instalación es transparente, resulta fácil realizar mediciones, ya que se puede observar cómo la columna de agua va disminuyendo de tamaño en el momento en el que la manivela deja de girar.

En este caso, se tomó una longitud de 2,6 metros de la tubería de subida y se dispuso a hacer medidas con un cronómetro digital con precisión de centésimas de segundo.

Para realizar las mediciones, se precisó de la ayuda de un compañero, ya que, cuando se para de girar la manivela, la columna de agua comienza a descender por la tubería de subida y es necesario que una persona esté situada en el piso inferior para accionar el cronómetro y tomar los tiempos oportunos desde el momento en que el compañero para la manivela.

Siguiendo este procedimiento, se intercambiaron las funciones y así hubo dos personas que tomaron medidas con el cronómetro, para hacer más fiables las

medidas, y asegurarse de que ninguno de los usuarios daba un uso incorrecto o dispar al cronómetro.

3.2.2.2 Resultados y comparación con los resultados anteriores

Los resultados de tiempo de vaciado del volumen comprendido en esa longitud de conducto de subida fueron:

	Persona A	Persona B
	7,18	6,56
	5,86	6,18
	7,03	6,1
	6,26	5,9
	7,13	6,88
	6,55	7,3
	6,39	6,01
	6,02	6,8
Tiempos medios	6,55	6,47

Figura 3. 15: Tabla de tiempos por persona

A su vez, haciendo la media de los tiempos medios por persona obtenemos un tiempo medio total de vaciado de:

$$t_{\text{vaciado}} = 6,51 \text{ s}$$

Y, una vez tenemos el tiempo de vaciado calculamos el caudal de pérdidas:

$$Q_p = v_p \cdot A_{\text{Total tubería}} = \frac{H}{t_{\text{vaciado}}} \left(\frac{\pi}{4} (D_{\text{tubería}}^2 - D_{\text{cuerda}}^2) \right)$$



$$Q_p=0,227 \text{ l/s}$$

3.2.2.3 Conclusiones

Pese a ser un ensayo muy simple, también es muy específico en cuanto a los componentes que intervienen. Por lo tanto, la diferencia que se percibe:

a) Resultados de Isabel Madrid:

$$Q_p=0,196 \text{ l/s}$$

b) Resultados obtenidos:

$$Q_p=0,227 \text{ l/s}$$

La diferencia en los caudales de pérdidas deja entrever un deterioro de los pistones, ya que la diferencia entre ambos caudales de pérdida supone un aumento del 14,2%, sin poder sacar conclusiones en firme todavía, este resultado servirá como apoyo a los resultados del análisis del caudal de pérdidas en función de la frecuencia

3.2.3 Realización de ensayo y análisis del caudal de pérdidas en función de la frecuencia

Se describe en este punto cómo se realizaron las medidas, los resultados obtenidos y su comparación con los anteriores de Isabel Madrid. Como se explica más en detalle en el punto 3.2.1.2 el ensayo consiste en calcular la diferencia del caudal teórico y el caudal experimental, obteniendo así el caudal de pérdidas. Esto se repite a diferentes frecuencias para ver la evolución del caudal de pérdidas y averiguar el rango de frecuencia para el funcionamiento más óptimo de la bomba.



3.2.3.1 Técnica de medida

Se seleccionan varios rangos de frecuencias y se prepara una plantilla para la toma de datos en el laboratorio.

rpm	f (hz)	Tiempo (min)	Medidas caudalimetro		Total bombeado (m³)	Total bombeado (l)	Caudal experimental (l/s)
			Inicial (m³)	Final (m³)			
22	0,37	1					
22	0,37	1					
26	0,43	1					
26	0,43	1					
30	0,5	1					
30	0,5	1					
30	0,5	1					
36	0,6	1					
36	0,6	1					
45	0,75	1					
45	0,75	1					
60	1	1					
60	1	1					
72	1,2	1					
72	1,2	1					
75	1,25	1					
84	1,4	1					
84	1,4	1					
90	1,5	1					

Figura 3. 16: Tabla para la toma de datos

Como se indicó en los puntos 3.1.3.2 referente a la rueda, y 3.1.3.3 referente a la manivela, estos componentes sujetos a mejora son por el momento empleados para realizar las mediciones, ya que el objetivo primero es repetir y replicar los resultados obtenidos en anteriores proyectos, para fijar esa base y tenerla como punto de comparación para las mejoras posteriores.

Dicho esto, se procede a la toma de datos trabajando con la bomba. Es debido asegurarse de que se cumple con el ritmo impuesto (la frecuencia) y de que se dan las vueltas correspondientes en cada medida. Para ello se emplea una aplicación de móvil llamada “Metronome Beats”. Esta app simula un metrónomo y permite variar tanto la frecuencia de los “beats” por minuto, como la cantidad de “beats” que se quieran escuchar, es decir, el tiempo. Véase en la siguiente

figura una imagen de la interfaz de la aplicación donde se intuyen sus funcionalidades.

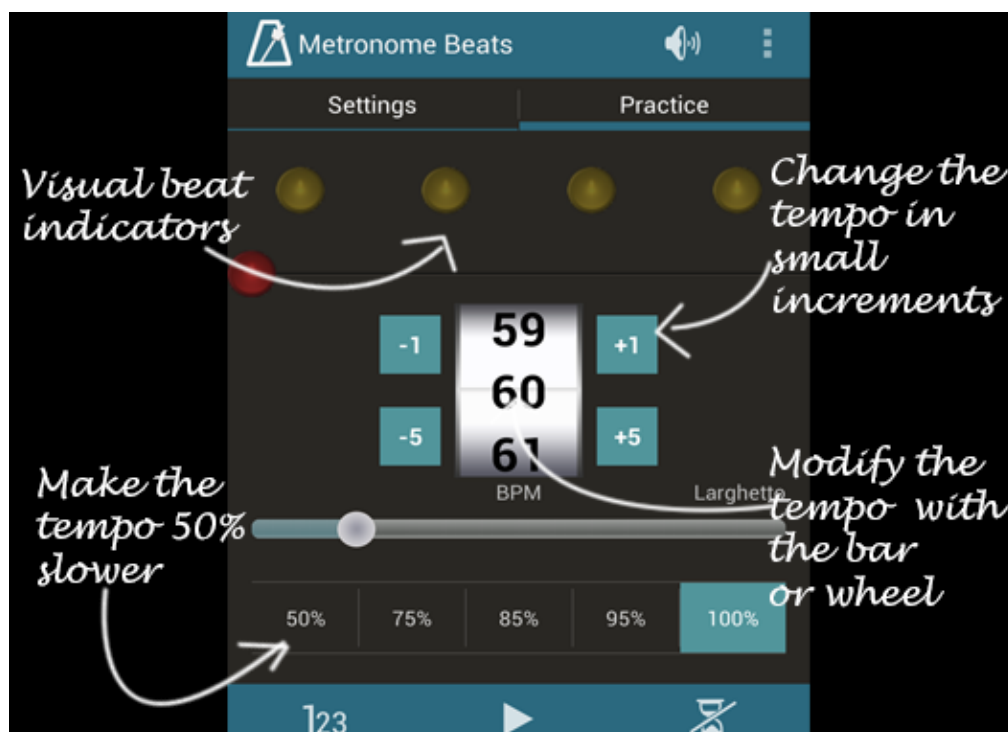


Figura 3. 17: Interfaz de la app “Metronome Beats”

Como uso de la información en la técnica de medida, decir que a la hora de traspasar los datos de las plantillas de datos al programa de hojas de cálculo Excel, decir que de cada plantilla se halla la media aritmética de los valores con frecuencias repetidas. Y se rellenan 3 plantillas para completar una muestra de resultados. Esto nos permite obtener valores ponderados con décimas de litro, ya que el caudalímetro instalado sólo dispone de una precisión de litros.

3.2.3.2 Resultados y conclusiones de los ensayos de caudal de pérdidas en función de la frecuencia

Siguiendo la técnica de medida descrita en el apartado anterior, las ecuaciones para obtener el caudal teórico del punto 3.2.1.2. y con lo anteriormente expuesto, haciendo referencia en este sentido al estado de la bomba, que ha sido librada de los problemas que venía arrastrando gracias a la puesta a punto, a las primeras

acciones y a las alternativas de diseño que se describen a lo largo del punto 3.1; con todo ello se está dispuesto para la primera toma de datos.

Tras las primeras medidas y recopilar una muestra de datos equivalente a 3 plantillas del apartado 3.2.1.1 . Se elaboró una gráfica que resulto ser de la forma:

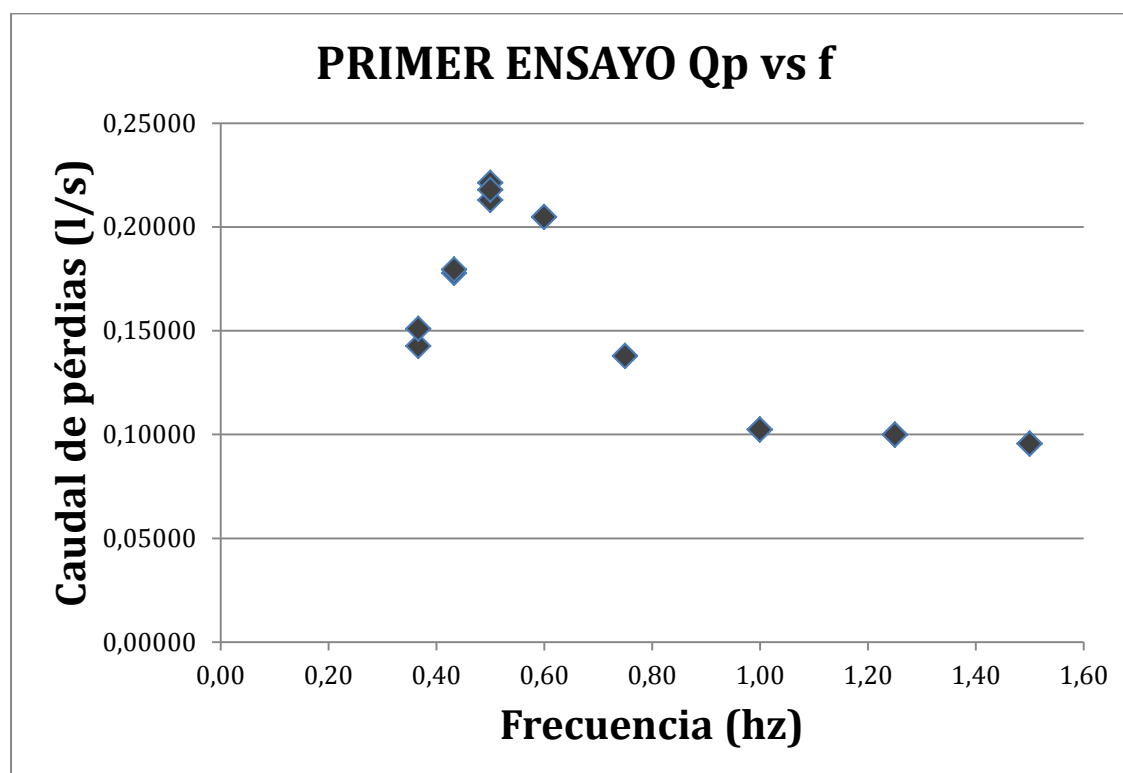


Figura 3. 18: Gráfica del ensayo 1 de caudal de pérdidas en función de la frecuencia

Si se compara con la gráfica de Isabel, la forma resulta similar, no obstante se puede ver como a partir de 0,7 hz el caudal de pérdidas se estanca en 0,1 l/s. Esta falta de réplica a tender a cero, hace plantearnos y dudar sobre la validez de las medidas.

De nuevo nos surgen interrogantes sobre que elementos de la bomba pueden estar afectando a estos resultados. Rueda, cuerda y pistones, así como la fricción existente entre ambos son cuestionados.

Se decide en este momento realizar una segunda tanda de medidas, con el fin de corroborar los resultados obtenidos, prestando especial atención a la técnica de medida. Los resultados se reflejan en la siguiente gráfica:

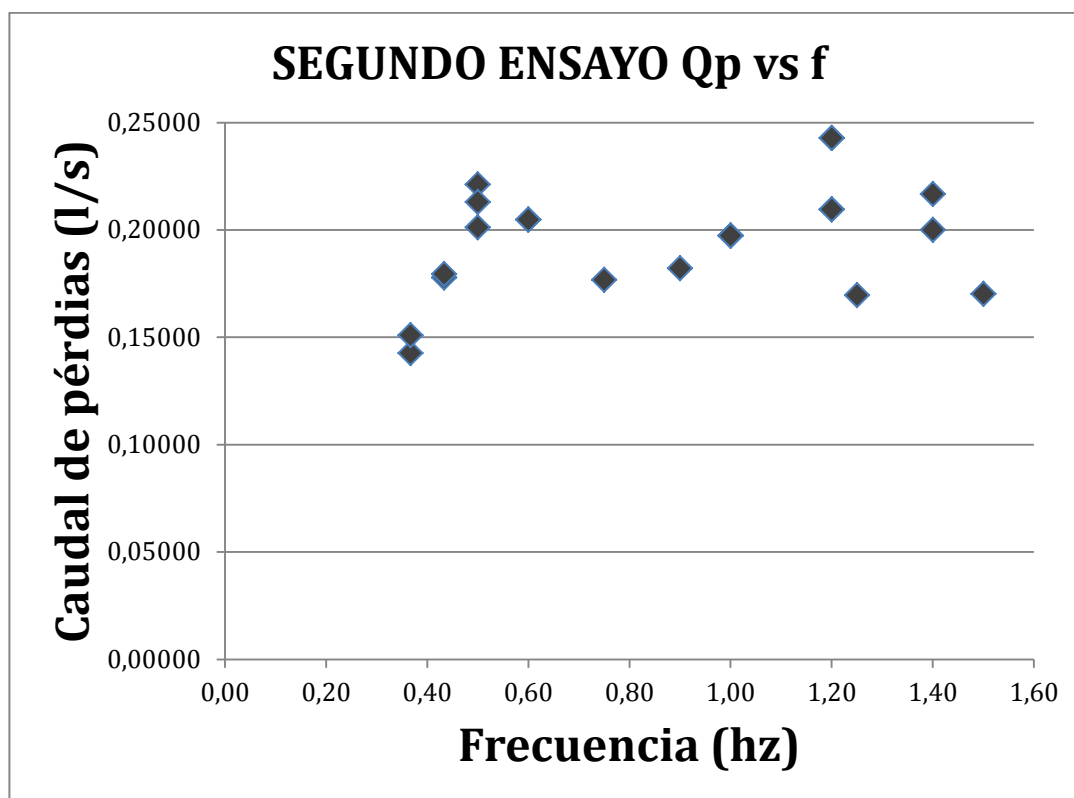


Figura 3. 19: Gráfica del ensayo 2 de caudal de pérdidas en función de la frecuencia

Observando los resultados, la sorpresa fue mayúscula, ya que, ni se replicaron los del primer ensayo, ni tampoco se obtuvieron resultados similares a los de Isabel Madrid.

Los resultados obtenidos muestran una aleatoriedad notable en altas frecuencias. Por otro lado, a bajas frecuencias sí mantiene un patrón de resultados que está dentro de lo obtenido tanto en el ensayo anterior como en los resultados de Isabel Madrid.

Los caudales de pérdida son altos, sin patrón ni tendencia a frecuencias superiores a 0,6 hz. Se mueven en valores de caudal de pérdidas similares a los de baja frecuencia.



Son señalados por tanto, los pistones, la rueda y la fricción entre ambos.

En el siguiente punto se analizarán estos elementos y se estudiarán alternativas para identificar de forma justificada el problema y ponerlo solución.

3.3 Alternativas de diseño

En este punto se describirán y justificarán el diseño y la fabricación de los elementos señalados como culpables de los resultados incoherentes en el caudal de pérdidas de la bomba. Parámetro que directamente proporcional con el rendimiento de la bomba, tal y como se mostró en el punto 2.3.3.2.5.

En primer lugar se empezará a hablar sobre los pistones y la cuerda, posteriormente sobre la fabricación de una nueva rueda y finalmente, como consecuencia de la nueva rueda, la fabricación de una nueva manivela.

3.3.1 Cuerda y pistones

3.3.1.1 Justificación

Debido a los resultados, ya es conocido que los pistones son uno de los elementos a mejorar. No obstante, se procede al análisis del elemento en concreto.

Se comprueban uno a uno los pistones y se mide su diámetro.

Inicialmente, tras su fabricación los pistones tiene un diámetro de 26,5 mm.

Las medidas de los pistones medidas con un calibre fueron:

	Diámetro pistones (mm)
1	24,7
2	24,7
3	24,8
4	24,5
5	24,6
6	24,6
7	24,8
8	24,9
9	25
10	24,6

Figura 3. 20: Tabla de valores de los diámetros

Los valores obtenidos nos indican un deterioro progresivo de los pistones. Esta disminución de tamaño hace que el caudal de pérdidas sea mayor y puede explicar su aumento.

Por lo tanto, se decide fabricar de nuevo los pistones de la bomba e instalarlos en una cuerda del mismo material (poliamida) para poder comparar los resultados.

3.3.1.2 Proceso de fabricación

El proceso de fabricación requiere recordar el punto 2.2.3. donde se describe que es el concepto VL0M y por qué es tan importante para el diseño de este tipo de bombas y para las situaciones en las que están pensadas.

Por ello, se utilizan medios propios y caseros para la fabricación de los pistones.

Se recopilarán restos o sobrantes de plásticos termoplásticos, aquellos que cuando se aumentan su temperatura pueden llegar a derretirse o ser moldeados, y una vez se enfría adquirir una nueva forma.

En primer lugar, es calentar el material conseguido, lo cuál se hará mediante un infernillo eléctrico. A continuación, se introduce el material directamente, aún fácilmente moldeable en un molde metálico tipo macho y hembra, que nos proporciona la forma del pistón, ver la siguiente figura.



Figura 3. 21: Molde metálico para la fabricación de pistones

Se aprecia en la parte hembra del molde un agujero, este hace las veces de rebosadero para el material sobrante que se introduzca en el molde, de forma que luego quede una pequeña rebaba que se corta fácil.



Figura 3. 22: Pistones recién extraídos del molde y pistones ya taladrados

Pistones según salieron del molde y el paso siguiente, realizar un taladro ,pasante y por el centro, de 4mm de diámetro para el paso de la cuerda.

Para la fijación de los pistones en la cuerda se empleará el mismo material, poliamida, y modelos de nudos que empleó el compañero que montó los pistones en la cuerda, Javier Tobella. El primer tipo de nudo es conocido como “medio nudo múltiple” y se corrobora su correcta elección, ya que resulta un nudo que no modifica la dirección de la cuerda a la salida del nudo y de acabado plano para que el pistón asiente.

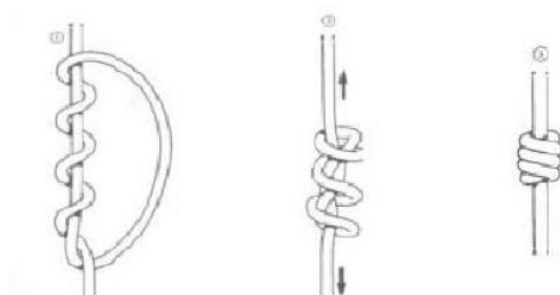


Figura 3. 23: Medio nudo múltiple

Por último, para la unión de los extremos de la cuerda, se utiliza el nudo corredizo típico de horca.

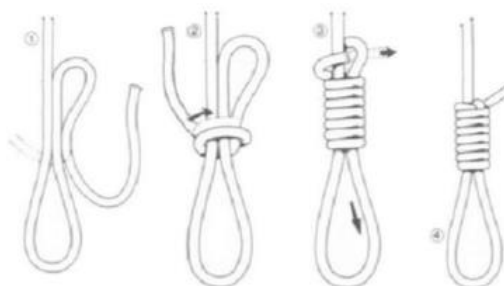


Figura 3. 24: Nudo corredizo de horca



3.3.2 Rueda

3.3.2.1 Justificación

La rueda fue un elemento señalado desde las primeras observaciones tal y como refleja el punto 3.1.3.2. Decidiendo entonces mantener la rueda existente para replicar los resultados de la caracterización inicial. Pero a la vista de los resultados obtenidos, se considera que la rueda puede estar influenciando en el comportamiento de la bomba. La ausencia de forma de V en su perfil hace pensar en un deslizamiento entre la cuerda y la rueda que ha podido incrementar con el tiempo y el uso. Ciertamente es que durante la realización de las medidas si hubo momentos en que la manivela perdía solidaridad con la cuerda.

Otro de los motivos es el hecho de que, debido a la rueda actual, la cuerda ha de estar tensionada, para evitar o disminuir ese deslizamiento ya nombrado.

Este hecho tiene como consecuencia la necesidad de hacer más fuerza para mover a la bomba ya que se ha de vencer la tensión de la cuerda sumado al peso del agua que se está bombeando.

3.3.2.2 Proceso de fabricación

Antes de nada se busca y adquiere una rueda del mismo modelo que la presente rueda (rueda de vespino NLX del año 1991, llanta de aleación), para evitar problemas de tamaño en la instalación. Lo que si se verá afectado, a pesar de ser el mismo modelo, es el radio efectivo de la rueda, es decir, la distancia del eje al paso de la cuerda. Esto es debido al cambio de forma del perfil de la rueda. Se explicará en este punto más adelante.



Figura 3. 25: Rueda adquirida

Tras limpiar y desengrasar la llanta se comienza con la transformación para conseguir una rueda de bomba de mecate. Se describen a continuación las diferentes etapas:

- 1 Se desmonta el neumático de la llanta, este va a ser aprovechado para fabricar el perfil de la rueda.
- 2 Se corta el neumático por la mitad siguiendo el plano perpendicular al eje de la rueda. De forma que se obtienen dos mitades de las que se recortan los laterales para obtener los lados de lo que será la forma en V del perfil de la rueda.



Figura 3. 26: Corte del neumático para el perfil V

- 3 A continuación, se prepara la llanta para la instalación de los dos perfiles que juntos darán la V buscada para evitar la tensión actual en la cuerda para que haga tracción. Se instala, aprovechando la cámara que estaba dentro del neumático, una tira cortada de la misma pegada con cola de contacto. El objetivo es contar con una superficie de mayor adherencia para la instalación del perfil V.



Figura 3. 27: Instalación de la tira de cámara en la llanta

- 4 El centro de la llanta tiene menor diámetro que el exterior, por lo tanto, al situar los dos lados de la V en el centro hay material sobrante que se corta previo a la unión llanta y perfil V.



Figura 3. 28: Problemática detectada en la unión llanta-perfil V

- 5 Una vez cortado a la medida, el perfil se une con un adhesivo flexible a base de polímeros “T-Rex”, en los huecos laterales del perfil de la llanta, adyacentes a los lados del perfil V, se instala una soga sellada con el mismo adhesivo, para asegurar la sujeción lateral del perfil.



Figura 3. 29: Comienzo de la aplicación de adhesivo para la unión

- 6 Se deja secar durante las 12 horas, indicadas por el fabricante. Entonces llega el momento de acoplar la rueda al eje y a la nueva manivela, cuya fabricación se explicará en el punto 3.3.3, para ello se encarga una pieza a medida, que hace acople en la unión rueda-manivela, para conseguir el giro solidario entre ellos. El resultado final de la rueda perfil V y nueva manivela se observa en la siguiente figura.



Figura 3. 30: Conjunto rueda-manivela finalizado

3.3.2.3 Cálculo del Radio efectivo

Para trabajar con el nuevo sistema rueda-manivela, es necesario calcular el radio efectivo del mismo. Este es la distancia comprendida entre el centro del eje y el centro de la cuerda con los pistones durante el funcionamiento de la bomba.

Si se recuerda el cálculo del caudal de pérdidas de la bomba, que consistía en restar el teórico del experimental, dentro del caudal teórico aparece la velocidad de la cuerda, que es proporcional a la frecuencia de giro y al radio efectivo.

Por lo tanto calcular de la forma más exacta el radio efectivo es vital para obtener unos resultados fiables.

Se barajaron tres métodos para el cálculo:

- Medición de la longitud de cuerda sobre la rueda en π *radianes* con diferentes casuísticas de paso de la cuerda, (con o sin pistón en el canal V).



- Medición directa sobre la rueda (llanta y perfil) y cálculo del hueco existente rueda-cuerda por relaciones trigonométricas.
- Medición durante funcionamiento. Medir la longitud total de la cuerda y calcular cuantas vueltas y fracción de vuelta se dan para recorrerla.

Se opta por el último método, ya que es el que tiene más espectro de medida y nos deja menos margen de error. A su vez es el más sencillo de realizar.

De esta manera:

$$X_{vueltas\ manivela} \cdot 2\pi \cdot R_{efectivo} = L_{cuerda}$$

Haciendo los cálculos y mediciones oportunas se despeja el $R_{efectivo}$ de la ecuación y se obtiene un resultado de:

$$R_{efectivo} = 21,62\ cm$$

3.3.3 Manivela

3.3.3.1 Justificación

La fabricación de una nueva rueda, invita a crear el conjunto rueda-manivela al completo, además se mejora el diseño de la manivela anterior. Se acortará el brazo de la manivela y se cambiará el lado de actuación. De esta manera se mejoran los siguientes aspectos:

- 1) Trabajar en el mismo lado que el desagüe, evitando salpicaduras.
- 2) Momentos de fuerza sobre los cojinetes disminuyen, ya que, al ser el brazo más pequeño, las fuerzas verticales u horizontales que no corresponden al movimiento del giro producen estos momentos que son mayores cuanto más grande es el brazo de actuación.



3.3.3.2 Proceso de fabricación

Debido a la sencillez de soldadura, accesibilidad en el mercado y robustez suficiente se dispone a comprar tubos de cobre de 18 mm que con dos codos del mismo material son cortados a medida y soldados por los operarios de los laboratorios de la Universidad.

3.3.3.3 Elemento de deslizamiento, nuevas dimensiones, calculo del nuevo radio de la manivela a raíz del cálculo anterior de radio efectivo

Se prepara un cilindro de manera que gire loco en el mango de la manivela, para evitar la que la fricción sea entre mano y manivela. La comodidad de este añadido va en función del gusto del usuario.

Las nuevas dimensiones de la manivela vienen prefijadas por las características de la bomba.

- El tubo que hace de eje, que ha de sobresalir entre 4 y 6 cm por cada lado.
- El tubo que se utiliza para girar la manivela viene fijado por la norma y se recomienda que sea de entre 20 y 25 cm.
- El tubo que hace de radio de la manivela, viene en función del radio efectivo, y se recomienda que sea 1 pulgada mayor, es decir, 25,4 mm mayor.

Para el cálculo de corte de los tubos y su acople con los codos, se tuvo en cuenta las medidas de los mismos.



3.4 Caracterización final

3.4.1 Montaje de los nuevos componentes y puesta en funcionamiento

Una vez se tienen listos todos los componentes nuevos, se instalan en la bomba y se preparan para funcionar y poder comprobar que todo está correcto.

Primero se prueban los nuevos componentes con las condiciones anteriores, es decir, con la cuerda tensionada, el funcionamiento es el adecuado, no hay ningún inconveniente.

Después, se prueba a trabajar con la bomba eliminando la tensión de la cuerda. Una de las mejoras que gracias a la nueva rueda se pueden plantear. El perfil de la rueda trabaja a la perfección, no existe deslizamiento con la cuerda.

No obstante, se descubre un nuevo problema, alguno de los pistones se gira y se atasca en la tubería de subida. Esto provoca un frenazo en seco de la manivela y la bomba queda inoperativa hasta desatascar ese pistón.

Se buscan explicaciones, se piensa que la ubicación de los nudos con respecto los pistones puede ser culpable, así como el tamaño o la forma de los pistones, que sin tensión en la cuerda pueden virar más fácilmente.

Esta problemática se deja abierta para futuros estudios, ya que el objetivo ahora es caracterizar la instalación y poder señalar a los culpables del caudal de pérdidas sin antecedentes y sentido que se ha obtenido en los ensayos realizados.

3.4.2 Realización de ensayo y análisis del caudal de pérdidas en función de la frecuencia con los nuevos componentes

Este ensayo se repite para sacar conclusiones sobre si hemos detectado y solucionado el problema. La técnica de medida y la metodología empleada para sacar los resultados es la misma que la descrita en los puntos 3.2.1.2 y 3.2.3.

Con ello, los resultados se plasman igualmente en una gráfica, obteniendo:

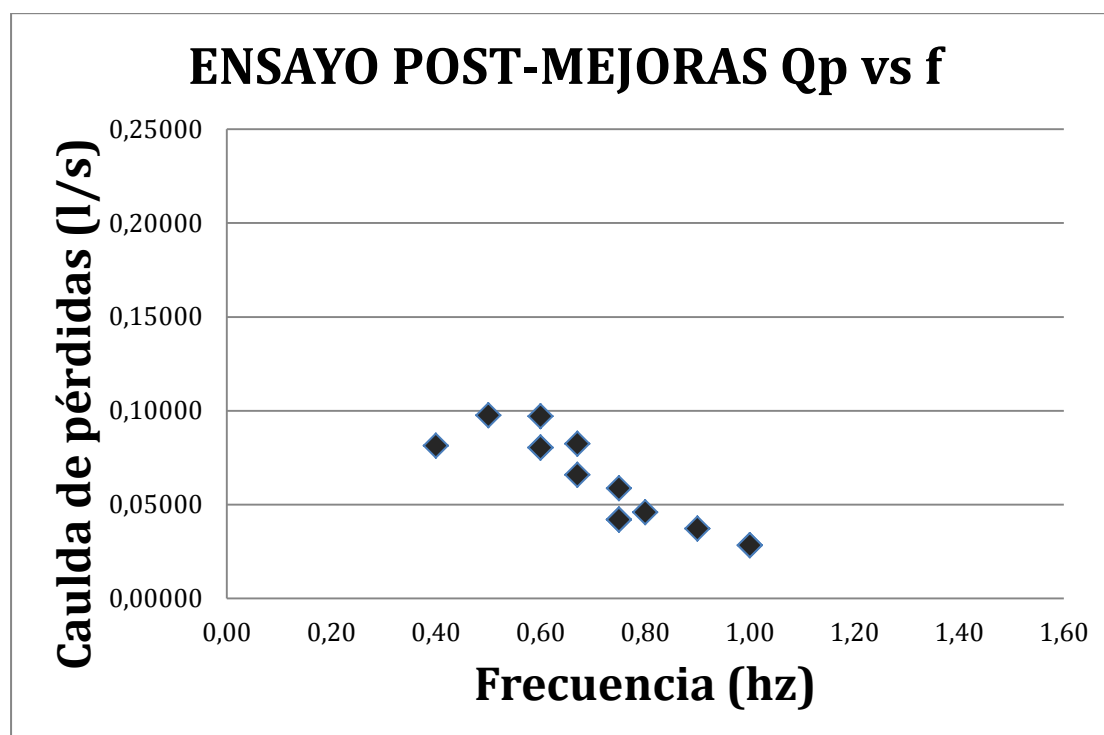


Figura 3. 31: Gráfica del ensayo con los nuevos componentes

Como refleja la gráfica, los resultados vuelven a la senda del comportamiento de la bomba descrito en anteriores proyectos. De hecho, también dentro de la lógica, el caudal de pérdidas es menor en todo el rango de frecuencias en comparación con los resultados de Isabel Madrid, obviamente los pistones son nuevos y los de nuestra compañera ya tenían uso cuando realizó el ensayo. Estos buenos resultados van a permitir sacar conclusiones después de aunar y comparar la información y el trabajo realizado durante este proyecto.

3.4.3 Comparación, evolución y conclusiones respecto la caracterización inicial

A continuación se va sintetizar toda la evolución del caso que ha surgido durante el desarrollo de este proyecto.

Se van a exponer cronológicamente la información obtenida del ensayo caudal de pérdidas frente la frecuencia, para tener de un vistazo la evolución.

- 1) La inicial del comportamiento de la bomba que se tiene gracias a estudios anteriores.

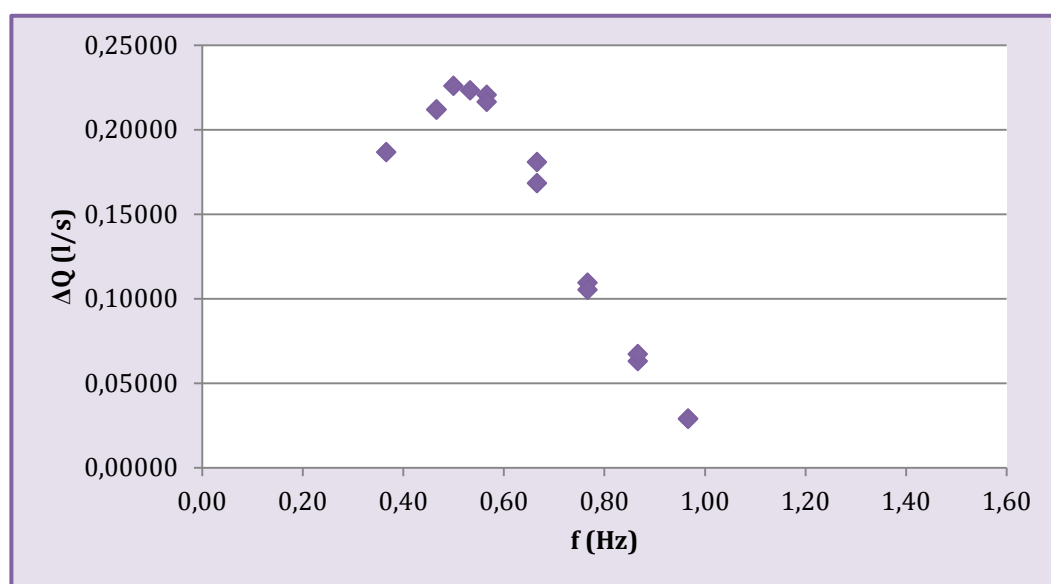


Figura 3. 32: Gráfica 1

- 2) La realización del primer ensayo después de la puesta a punto y la introducción de las primeras mejoras que no intervenían en los parámetros que caracterizan la bomba.

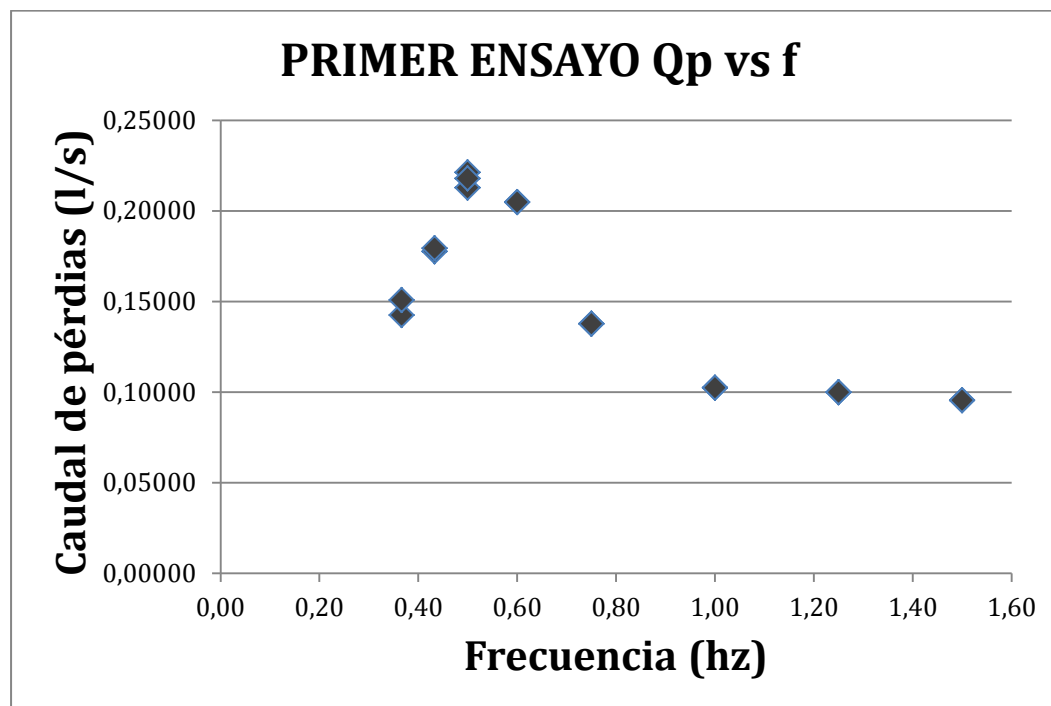


Figura 3. 33: Gráfica 2

- 3) La realización del segundo ensayo en las mismas condiciones que el primero.

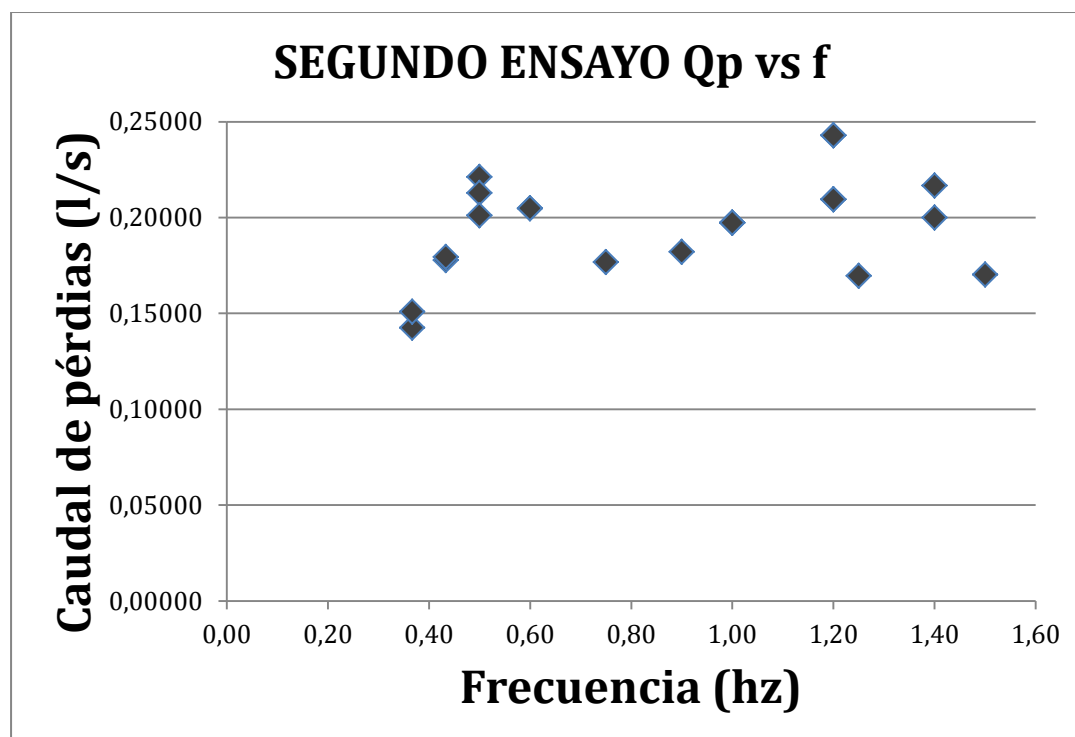


Figura 3. 34: Gráfica 3

- 4) La realización del tercer ensayo, tras la fabricación de nuevos componentes tras la sospecha de la causa del problema.

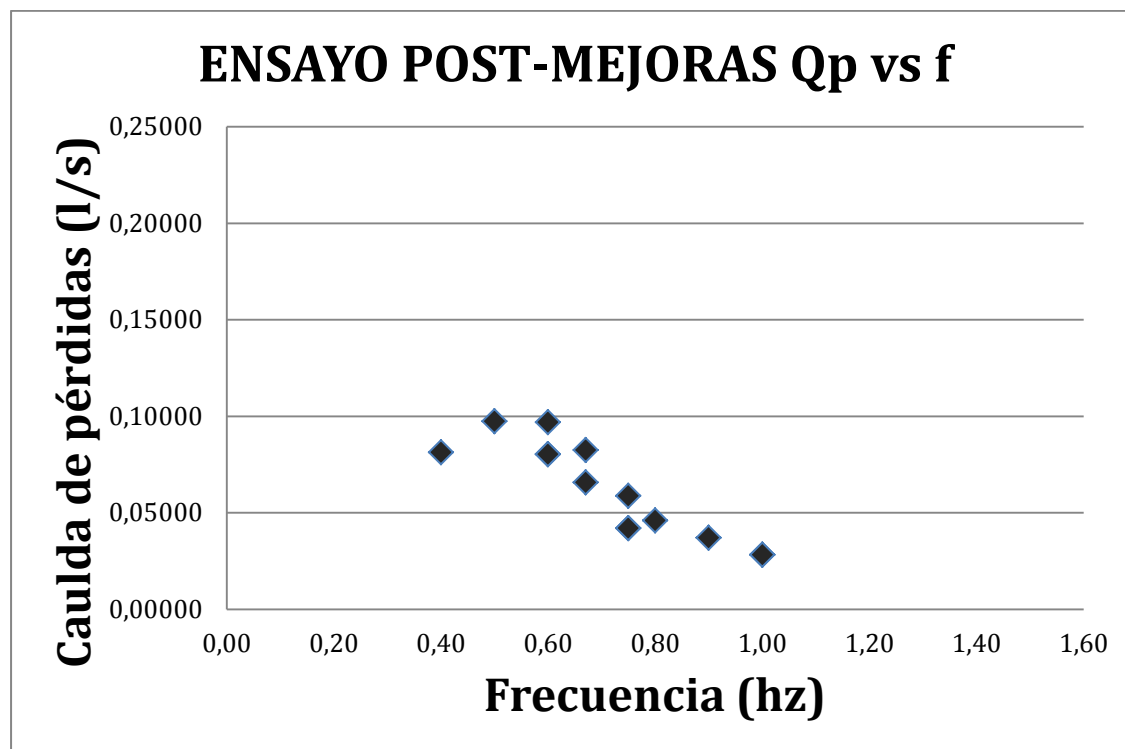


Figura 3. 35: Gráfica 4

La comparación directa demuestra que el problema está resuelto y que se había detectado correctamente. Lo que en un principio era una comprobación de la bomba para continuar con su estudio, se convirtió en el descubrimiento de un problema que ha permitido detectar un patrón de comportamiento del desgaste de los pistones en una bomba de mecate, a la vez se han fabricado e incorporado mejoras y nuevos componentes para afrontarlo.

El patrón descubierto nos indica como durante el desgaste de los pistones el caudal de pérdidas aumenta a frecuencias superiores a 0,6-0,7hz (primer ensayo) y posteriormente, sufre un cambio radical que hace fluctuar los caudales de pérdidas en un rango de valores propio de bajas frecuencias (segundo ensayo). Esto se intuye que es debido a que una vez todos, o casi todos, los pistones están desgastados, no coincide ninguno en buenas condiciones dentro la



tubería de subida cuando la bomba está trabajando y esto hace que el caudal de pérdidas se dispare en para ese tramo de la cuerda.



4. Presupuesto

El enfoque que se le da a este capítulo es el que pretende buscar y justificar la lógica y viabilidad económica en la consecución de las mejoras y estudios realizados.

La idea es conglomerar todos elementos que han tenido impacto económico y estudiar después el interés que puede despertar el desarrollo de este proyecto.

Se van a desglosar los grupos de costes ya mencionados en tablas, para una visualización más directa y sencilla. Se van a exponer los gastos en un orden cronológico lógico, que se muestra a continuación:

- 1) Se encontrarán los gastos de personal de ingeniería dedicados al diseño y tiempo dedicado al estudio de las mejoras de la instalación.
- 2) En segundo lugar el coste de la adquisición de materiales necesarios para hacer posible la consecución del primer punto.
- 3) Después se contabilizará el gasto de la mano de obra por la fabricación de los elementos diseñados con los materiales adquiridos.
- 4) Y por último, se contabilizarán el tiempo dedicado a ensayos y pruebas con la bomba, como parte del trabajo de investigación.

1) INGENIERÍA Y DISEÑO

Se contabilizan las horas de trabajo en este aspecto a un precio estimado de 25 € la hora. Se separa el tiempo invertido por elemento.

ELEMENTO	HORAS EMPLEADAS	PRECIO (€)
Cojinetes	2	50,00 €
Estructura	2	50,00 €
Desagüe	5	125,00 €
Rueda	5	125,00 €
Cuerda y pistones	1	25,00 €
Manivela	2	50,00 €
TOTAL		425,00 €

Figura 4. 1: Tabla coste de ingeniería y diseño

2) MATERIALES

Se sitúan en función de cada elemento los materiales comprados y su precio. Parte de materiales o herramientas que aquí no se consideran han sido utilizadas de las instalaciones de la universidad.

ELEMENTO	MATERIALES ADQUIRIDOS	PRECIO (€)
Cojinetes	Bloques de haya	7,00 €
Estructura	4 Escuadras	12,50 €
	Tornillería	0,80 €
Desagüe	Tuberías PVC	3,50 €
	Depósito de plástico	4,69 €
	Pegamento PVC	6,15 €
	Codos y uniones tipo T	11,43 €
Rueda	Rueda 2ª mano vespino NLX	15,00 €
	Adhesivo T-REX multiusos polímeros	10,20 €
	2 metros de cuerda	0,50 €
Cuerda y pistones	10 m de cuerda poliamida	2,80 €
	Tornillería	2,00 €
Manivela	Tubos de cobre	12,00 €
TOTAL		88,57 €

Figura 4. 2: Tabla coste de materiales

3) MANO DE OBRA

Se contabilizan las horas invertidas en la fabricación y montaje de los componentes, se cuenta de forma independiente para cada componente. El precio de la hora se estima en 15€ por hora.

ELEMENTO	HORAS EMPLEADAS	PRECIO (€)
Cojinetes	5	75,00 €
Estructura	3	45,00 €
Desagüe	6	90,00 €
Rueda	8	120,00 €
Cuerda y pistones	6	90,00 €
Manivela	4	60,00 €
TOTAL		480,00 €

Figura 4. 3: Tabla coste de mano de obra

4) ENSAYOS Y PRUEBAS

Se van contabilizan en función de los ensayos y pruebas realizadas las horas invertidas, a razón de 15 € la hora, estimando el mismo precio por hora que el de un operario del punto anterior.

TIPO DE ENSAYO O PRUEBA	HORAS EMPLEADAS	PRECIO (€)
Pruebas de puesta en marcha	3	45,00 €
Pruebas funcionamiento después de las primeras acciones	4	60,00 €
Ensayo de caudal estático	12	180,00 €
Ensayo de caudal en función de la frecuencia	44	660,00 €
TOTAL		945,00 €



Figura 4. 4: Tabla coste de ensayos y pruebas

Una vez se suman los totales de cada parte del presupuesto, se cuantifica el coste total de todo el proyecto en **MIL NOVECIENTOS TREINTA Y OCHO EUROS Y CINCUENTA Y SIETE CÉNTIMOS**. Observando al carácter y finalidad de este y otros proyectos similares y viendo como la cantidad a invertir no es elevada, se cree firmemente en la financiación y apoyo a este tipo de iniciativas, tanto dentro como fuera de la universidad.



5. Conclusiones

Al término de este proyecto se extraen conclusiones de tres tipos diferentes, cada una con su valor.

1) Conclusiones de los resultados y el trabajo realizado.

Gracias al estudio, la documentación y los ensayos realizados con la bomba se han logrado avances de diversa índole en la bomba de mecate.

Mencionando las pequeñas acciones y primeras mejoras de diseño, se ha conseguido mejorar de forma notable la usabilidad y apariencia de la bomba. Cojinetes, desagüe y estructura han sido los más beneficiados en este aspecto.

En cuanto a las conclusiones obtenidas en la búsqueda de caracterización de la bomba, la sorpresa de no conseguir de manera relativamente fácil replicar los resultados anteriores en los ensayos, hizo tener que identificar el elemento, los pistones, que causaba un problema que no se esperaba encontrar, consiguiendo caracterizar así, de forma práctica, el comportamiento de la bomba ante un desgaste de los mismos. Independientemente se devuelve a la bomba a su correcto funcionamiento y se mejora, con la fabricación e instalación de la nueva rueda.



2) Conclusiones de progreso, críticas y futuros trabajos con la bomba.

Se aconseja, como paso inminente, analizar y estudiar en la bomba la comparación entre la rueda vieja y la nueva, con esta última sin la cuerda tensionada. Para ello, se debe trabajar con la nueva rueda y analizar el problema, ya mencionado en el punto 3.3, que trata del atasque de los pistones en la tubería de subida. Analizar posibles cambios de material o diseño en los pistones, caja guía o tubería de subida para conseguir sacar partido a la rueda nueva, que hace traccionar la cuerda sin necesidad de estar tensa.

Como crítica constructiva a la instalación se recomienda reemplazar el caudalímetro, que debido a su precisión en litros es necesario realizar muchas mediciones para sacar valores finos.

3) Conclusiones de aprendizaje y experiencia propia. Aplicación de conocimientos ingenieriles.

Mención especial aquí a la concienciación adquirida frente un problema mundial tan grave, que todo el mundo sabe pero que en tu día a día no existe, que sufren personas con padres e hijos. También el estudio de datos sobre como va a evolucionar la problemática del agua y que medidas se pueden aplicar.

Desde el punto de vista técnico, ingenieril, se puede decir que gracias a conocimientos adquiridos durante toda la carrera en asignaturas tales como Ciencia e Ingeniería de Materiales, Tecnología Mecánica, Sistemas de Producción y Fabricación, Ingeniería Fluidomecánica, etc. Se han realizado con conocimiento, seguridad y sentido físico el tratamiento térmico de los cojinetes, la fabricación de los componentes nuevos y los análisis teórico-prácticos oportunos.

No obstante, se puede decir que el alto componente práctico de este proyecto, donde el trabajo manual ha sido importante, se han aprendido muchos detalles de sentido común que a simple vista muchas veces no se ven hasta que no participas en este tipo de tareas.



Con todo ello y dando por finalizado el proyecto, termino muy satisfecho por el cometido realizado y su fin. Tanto como por la experiencia adquirida en todos sus aspectos.



6. Bibliografía

- SKAT foundation "Technology Selection and Buyer's Guide for Public Domain Handpumps for Drinking Water" 2002.
- DWAF "Introductory Guide to Appropriate Solutions for Water and Sanitation" 2005.
- Organización de las Naciones Unidas. Informe sobre el desarrollo humano 2006.
- Constructores de bombas de mecate BOMESA (Bombas de mecate, S.A.) <http://www.ropepumps.org/>
- Practical Action, The Shumacher Centre for Technology & Development. Oil soaked wood bearings. <http://www.practicalaction.org/>
- Javier Tobella Arredondo "Diseño, montaje y ensayo de una bomba de mecate". Universidad Carlos III de Madrid. 2011.
- Javier Padrón González "Instrumentación, adquisición de datos para laboratorio multidisciplinar y motorización de bomba manual de mecate". Universidad Carlos III de Madrid. 2012.
- Manuel Patrón Codesido "Caracterización de bombas y bici-bombas de mecate". Universidad Carlos III de Madrid 2012.
- Isabel Madrid Madrid "Ensayo, modelado y motorización de bombas de mecate" Universidad Carlos III de Madrid 2014.